

AD-A038 379

COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LAB HANOVER N H F/G 8/6
SELECTED PAPERS AND SUMMARIES: SYMPOSIUM - GEOGRAPHY OF POLAR C--ETC(U)
MAR 77 J BROWN

UNCLASSIFIED

CRREL-SR-77-6

NL

OF 1
AD
A038379



END

DATE
FILMED
5-77

AD A 038379

SR 77-6



12 NW
Special Report 77-6

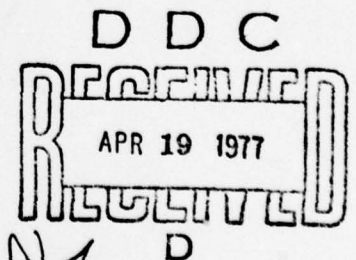
SYMPOSIUM: GEOGRAPHY OF POLAR COUNTRIES
Selected Papers and Summaries

Jerry Brown, Editor

March 1977

AD No. _____
DDC FILE COPY

CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY
COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LABORATORY
HANOVER, NEW HAMPSHIRE



Unclassified

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE (When Data Entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE		READ INSTRUCTIONS BEFORE COMPLETING FORM
1. REPORT NUMBER Special Report 77-6 ✓	2. GOVT ACCESSION NO.	3. RECIPIENT'S CATALOG NUMBER
4. TITLE (and Subtitle) SELECTED PAPERS AND SUMMARIES: SYMPOSIUM - GEOGRAPHY OF POLAR COUNTRIES .	5. TYPE OF REPORT & PERIOD COVERED CRREL-SR-77-6	6. PERFORMING ORG. REPORT NUMBER
7. AUTHOR(s) Jerry Brown, Editor	8. CONTRACT OR GRANT NUMBER(s) 16 1702	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Hanover, New Hampshire 03755	10. PROGRAM ELEMENT, PROJECT, TASK AREA & WORK UNIT NUMBERS DA Project 4A161102AT24 Scientific Area 02, Work Unit 002 CWIS 31111	
11. CONTROLLING OFFICE NAME AND ADDRESS Directorate of Facilities Engineering and Directorate of Civil Works Office, Chief of Engineers Washington, D.C. 20314	12. REPORT DATE Mar 1977	13. NUMBER OF PAGES 65
14. MONITORING AGENCY NAME & ADDRESS (if different from Controlling Office)	15. SECURITY CLASS. (of this report) Unclassified	15a. DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE
16. DISTRIBUTION STATEMENT (of this Report) Approved for public release; distribution unlimited.		
17. DISTRIBUTION STATEMENT (of the abstract entered in Block 20, if different from Report)		
18. SUPPLEMENTARY NOTES		
19. KEY WORDS (Continue on reverse side if necessary and identify by block number) Contamination Environments Degradation Impact Deterioration Polar regions Disturbances Pollution Environmental protection Prevention		
20. ABSTRACT (Continue on reverse side if necessary and identify by block number) The Symposium on Geography of Polar Countries held in Leningrad 22-26 July 1976 as part of the XXIII International Geographical Congress consisted of three sessions: I. Polar environment, natural resources, their exploration and exploitation. II. Past, present and future economic developments in the polar regions. III. Polar environment protection. This report presents the full text or extended summaries of a number of the U.S. papers, and English and Russian summaries of the Soviet contributions related to environmental protection. The papers and summaries presented in this report reflect the participation of members and of the joint US-USSR environmental protection agreement project, <i>Protection of Northern Ecosystems</i> . The U.S. papers deal with land use planning to mitigate environmental impact: the impact of resource development on natives, fish and wildlife, and permafrost.		

Unclassified

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE(When Data Entered)

20. Abstract (cont'd)

the impacts of pipelines and roads on the environment, and computer modeling to simulate terrain modification due to man's activities. The Soviet summaries deal with subjects of properties and changes in arctic and subarctic flora, treeline, and permafrost, and methods of predicting changes in the environment.

Unclassified

SELECTED PAPERS AND SUMMARIES

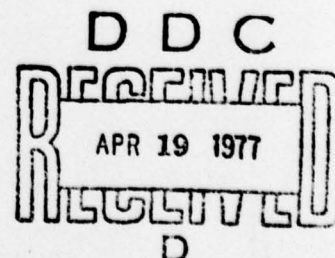
SYMPOSIUM: GEOGRAPHY OF POLAR COUNTRIES

XXIII International Geographical Congress
Leningrad, USSR, 22-26 July 1976

Jerry Brown, Editor

ACCESSION FOR		
NTIS	White Section	<input checked="" type="checkbox"/>
DDC	Butt Section	<input type="checkbox"/>
UNANNOUNCED		<input type="checkbox"/>
JUSTIFICATION		
BY		
DISTRIBUTION/AVAILABILITY CODES		
DISC.	AVAIL.	and/or SPECIAL
A		

U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory
Hanover, New Hampshire, USA



PREFACE

In conjunction with the XXIII International Geographical Congress held in the Soviet Union during July and August 1976, a special symposium (K-29) was conducted in Leningrad between 22 and 26 July 1976 entitled *Geography of Polar Countries*. The symposium was organized by A.F. Treshnikov of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) and hosted by AARI and the Soviet Geographical Society. The Symposium was divided into three sessions:

- I Polar Environment, Natural Resources, and their Exploration and Exploitation
- II Past, Present and Future Economic Developments in the Polar Regions
- III Polar Environment Protection

Extended summaries of the 83 papers listed in Appendix A were published in separate English and Russian language volumes, edited by A.F. Treshnikov (Chief Editor), V.M. Kamenev, Ye.S. Korotkevich, A. Ya. Minevich and I.M. Simonov.

The papers in Session III on polar environment protection are particularly relevant to our growing concern over environmental protection in polar regions. In the U.S., Public Law 94-282 states that "Congress finds and declares that science and technology should contribute to the following priority goals without being limited thereto: ... (7) providing for the protection of the oceans and coastal zones, and the polar regions, and the efficient utilization of their resources." In 1974 the U.S. and U.S.S.R. entered into an environmental protection agreement. One sub-project under this agreement is the "Protection of Northern Ecosystems" which is co-chaired by the Soviet Ministry of Agriculture and the U.S. Department of Interior. In conjunction with the 1976 protocol the U.S. encouraged participation in this special Leningrad symposium. Dr. J. Brown (U.S.) and Dr. S. Uspenski (U.S.S.R.), both members of the work group on the Protection of Northern Ecosystems, co-chaired Symposium Section III.

The following report contains the full texts or extended summaries of a number of the U.S. papers and a Russian summary of each. In addition, we have taken the liberty of reproducing, in English and Russian, the summaries of a number of Soviet contributions which we consider particularly relevant to the question of environmental protection in permafrost regions. The main purpose in preparing this report is to make available to a wide audience the materials presented by the U.S. participants and our Soviet colleagues.

Attendance at the symposium was enhanced by the U.S.-U.S.S.R. Environmental Agreement since several U.S. participants were enroute. In addition, the National Science Foundation provided travel assistance to several of the U.S. participants. The U.S. participants express their appreciation to the Soviet organizers of this symposium for the possibility to exchange ideas on the important subject of environmental protection in polar regions.

The material presented in these papers does not represent the opinions of USA CRREL.

JERRY BROWN
Research Soil Scientist
USACRREL
Hanover, N.H.

CONTENTS*

	Page
Preface	iv
Planning to mitigate environmental impact, <i>Curtis V. McVee</i>	1
Resource development and related environmental concerns in arctic Alaska — impact on natives, <i>David M. Hickok</i>	8
Resource development and related environmental problems in arctic Alaska — impact on fish and wildlife, <i>David R. Klein and James E. Hemming</i>	15
Computer modeling of terrain modifications in the arctic and subarctic, <i>Samuel I. Outcalt and Jerry Brown</i>	24
Resource development and related environmental problems in arctic Alaska — Highway Planning and Problems, <i>Walter B. Parker</i>	33
Resource development and related environmental problems in arctic Alaska: Impacts of large scale pipeline construction, <i>C.A. Champion and R.W. Huck</i>	37
Resource development and related environmental problems in arctic Alaska: Impact on permafrost, <i>M.C. Brewer</i>	38
Protection of natural complexes of the arctic and sub-arctic, <i>S.M. Uspensky, N. V. Vekhov, A.N. Kuliyeu and V.A. Lobanov</i>	39
The change of the northern environment as a result of its use, <i>V. V. Kryuchkov</i>	40
Impact of certain anthropogenic factors on tundra complexes of European north of the USSR, <i>Yu. G. Zharkova</i>	42
The domestic reindeer industry influence on the flora and fauna of the tundra of the USSR, <i>B.B. Borzhonov, E.K. Borozdin, N.O. Dyachenko and V.A. Zabrodin</i>	43
The lichen cover change caused by human activity in the north Yenisei Basin, <i>R.P. Shchelkunova</i>	44
Causes of treeless tundra zone, <i>V. V. Kryuchkov</i>	46
Permafrost in the territory of the USSR, <i>P.I. Melnikov and V.T. Balobayev</i>	47
The study of tendencies in permafrost development by the analysis of temperature field of the rocks, <i>N.A. Shpolyanskaya</i>	48
Basic propositions for scientific prediction of anthropogenic action and improvements of the environment in permafrost regions, <i>V.A. Kudryavtsev, L.S. Garagulya and L.M. Maximova</i>	50
The characteristics of simulating natural and natural-engineering sys- tems in permafrost regions, <i>V.A. Kudryavtsev and V.G. Melamed</i>	51
The role of radiation-heat balance in permafrost evolution, <i>L.S. Garagulya and V.A. Kudryavtsev, and E.I. Nesmelova</i>	53

* Complete versions of the first five papers listed are published in English, accompanied by summaries in Russian. Summaries of the remaining papers are published in Russian and English.

	Page
Methods of mapping of permafrost thickness — compiling regional maps, <i>V.S. Yakupov and V.M. Kalinin</i>	54
Thermal regime of Yakutia landscapes, <i>M.K. Gavrilova</i>	55
Sectoral differentiation of the arctic flora, <i>B.A. Yurtsev, A.I. Tolmachev</i> <i>and O.V. Rebristaya</i>	56
Conditions and peculiarities of construction projects in permafrost areas, <i>K.F. Voitkovsky and R.M. Kamensky</i>	58
Appendix A: Contents of symposium proceedings	61

PLANNING TO MITIGATE ENVIRONMENTAL IMPACT

Curtis V. McVee*

INTRODUCTION

The Arctic zone is universally identified as the area north of 66° North Latitude. In Alaska, the crest of the Brooks Range is popularly considered the dividing line between the Arctic and subarctic zones. The foothills and coastal plain north of the crest of the Brooks Range are characterized by short, cool, moist summers and dry, cold, long winters. By way of contrast, the foothills and interior valleys to the south of the crest enjoy short, warm, dry summers and very cold winters. For purposes of definition, further references to the Alaska Arctic zone in this paper will be limited to the area north of the crest of the Brooks Range. However, this paper will not be limited to the Arctic zone and will include discussion on the Arctic and subarctic.

The Arctic zone in Alaska and the high Arctic plains of Canada are the last remaining undeveloped areas in North America. Demands for resources, especially minerals and oil and gas, plus the rapid evolution and development of new technology enabling man to operate more efficiently in cold climates are exerting increasing use pressures on the Arctic.

Unique life forms and ecosystems have evolved over time in adaptation to the severe climatic conditions. Permafrost appears to be a key feature of ecosystem evolution, acting as a seal against deep percolation of the limited precipitation. By any measure, the Alaskan Arctic is a very fragile ecosystem, influenced by precipitation typical of dry or very dry desert areas.

Because of the harsh climate and general low productivity, even minor changes effected in this environment can trigger spectacular and long-lasting impacts. Massive changes, if allowed to occur, can have profound and long-term effects, generating permanent and irreversible ecosystem changes.

Historically, the Arctic region has been sparsely settled because of the extreme climatic conditions and the limited carrying capacity of renewable resources. As a result, large areas of the Arctic are essentially in a pristine condition. Man's use of the

Arctic will result in some impact on the ecosystem. However, if disturbance of the vegetative cover is minimized or is accomplished utilizing known engineering and biological principles, long-term damage can be avoided.

The search for new reserves of oil and gas in the Arctic region of North America is rapidly increasing in pace and intensity. Discovery and exploitation of significant reserves, such as those at Prudhoe Bay, can be expected to occur. As energy demands increase, extraction of coal reserves will also become a reality. Major developments and settlements to facilitate resource extraction are likely to be ephemeral in nature — intense concentrated development and activity for a finite period of time, then eventual abandonment. Even those uses dependent on renewable resources, such as grazing and timber production, must be approached with caution so as not to destroy the very ecosystem which produces the forage or the timber.

Problems of development reach far beyond the immediate confines of the Arctic area. The tendrils of access roads and pipelines in the Arctic and subarctic areas may eventually link with established road and pipeline systems far to the south. A permanent legacy of the search for, and development of, oil and gas resources of the Arctic will be a network of access roads, airstrips and pipeline routes. Some of these will likely remain in place though no longer used by industry, and some will be utilized by recreationists.

The problem, reduced to elemental terms, facing the Arctic land manager is how to accommodate such development and use while minimizing long-term impacts on the Arctic ecosystems. One thing should be emphasized at this point. Any use and development in the Arctic will result in some visual landscape changes. Such changes, however, need not necessarily result in a significant reduction or alteration in the basic productivity of the ecosystems involved.

Land use planning is one management tool which can be effectively utilized to prevent and/or minimize impacts. Because of the wide areal expanse of the Arctic and the support systems necessary through the subarctic regions, a method is needed to evaluate and

* State Director, Bureau of Land Management, Anchorage, Alaska.

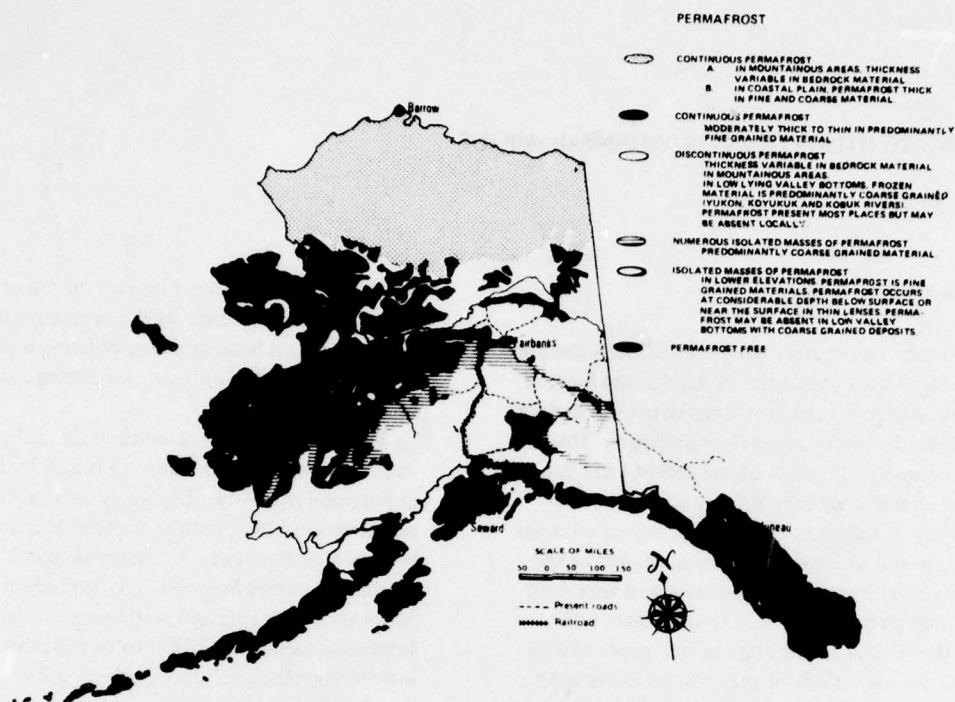


Figure 1. Permafrost in Alaska.

identify areas which should be given priority attention.

SUGGESTED PLANNING APPROACH FOR ARCTIC AND SUBARCTIC REGIONS

The technique described here is based on well-known principles of planning. The technique was developed in part, tested and used successfully by the Bureau of Land Management on a broad assessment of the entire state of Alaska with the exception of the Southeastern Panhandle.¹

Step I – Physical profile

Identification of the natural characteristics of the area. This includes such factors as topography, geology, soils, vegetation, climate and hydrography. Included in this physical profile were such items as fault lines and seismic zones, potential flood, ice jam, tsunami and wave hazard areas. Permafrost characteristics were also identified (Fig. 1). All data were portrayed on transparent overlays over a base map at a scale of 1 in. = 40 miles.

¹Bureau of Land Management, "Land Use Capacity and Management Philosophies for Alaska – A Study." Bureau of Land Management, Anchorage, Alaska, 1973.

Step II – Resource inventory

Resource data was portrayed on transparent overlays and included such items as timber inventory, land status, locatable minerals, possible metalliferous provinces, coal-bearing rocks, possible oil and gas provinces (Fig. 2), wildlife and fisheries habitats, grazing resources, and recreational resources.

Step III – Use suitability evaluation

This process brought together the physical and biological inventory in the preceding steps for assessment. Each of the seven resource disciplines represented in the study (Range Management, Forestry, Wildlife, Recreation, Minerals, Watershed Management, and Land Ownership) developed a suitability rating map covering every land area identified on the resource inventory map. Resources evaluated included livestock forage, timber, lands, minerals, water, wildlife habitats (Fig. 3) and recreation.

Suitability evaluations were ranked in one of three categories:

1. High amenability to environmental modification, or in the case of water, reflects few limitations to use and development of water;
2. Moderate amenability to environmental modification, or in the case of water, reflects some limitations for use and development of water;
3. Low amenability to environmental modification, or in the case of water, reflects considerable limitations to use and development of water.

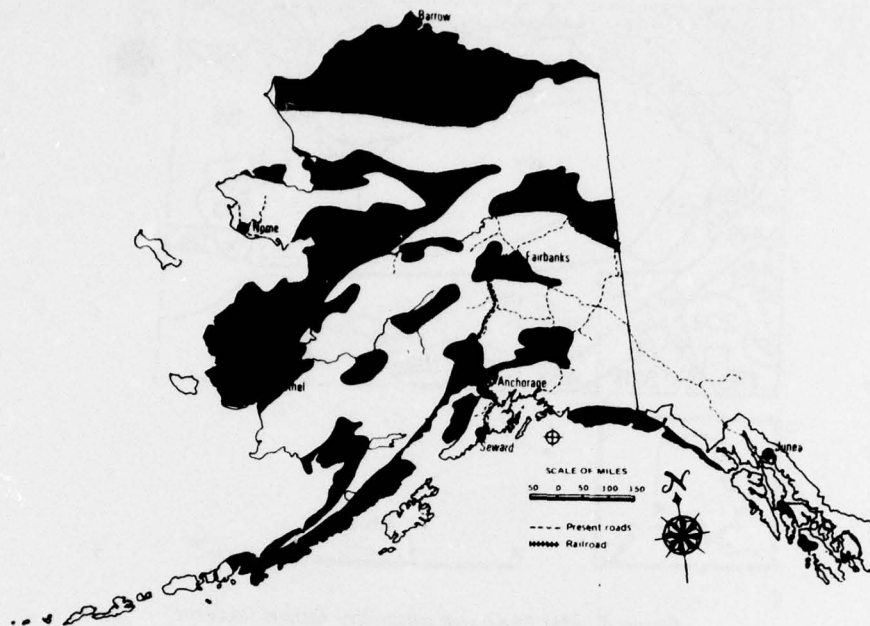


Figure 2. Possible petroleum provinces.

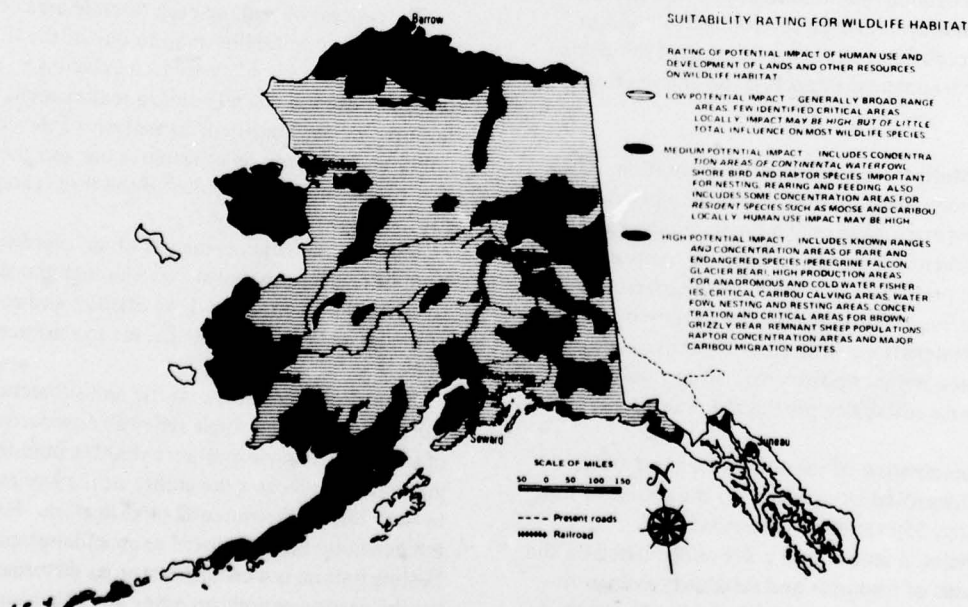


Figure 3. Suitability rating for wildlife habitat.

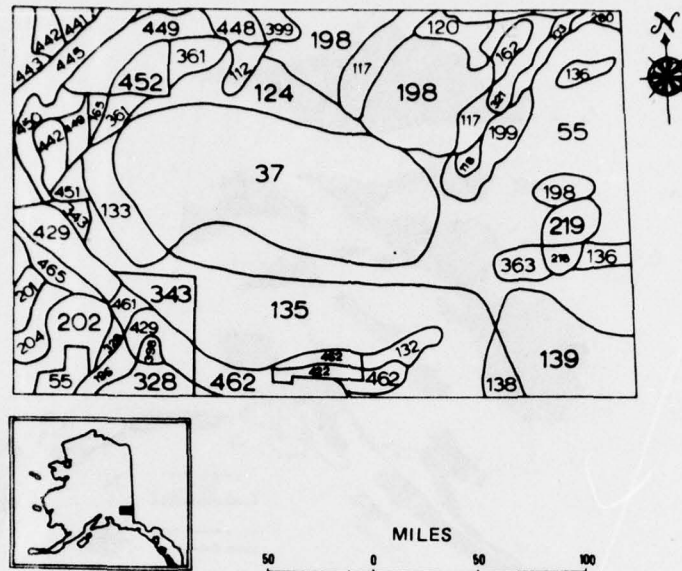


Figure 4. Multi-resource suitability ratings (excerpt).

An example for illustrative purposes is a forested area identified as commercial forest in the resource profile but underlain by shallow soil and permafrost. This area could be coded T3 to reflect a low amenability to environmental modification. The numerical weights do not mean use or development should or should not occur, but express a measure of the degree of likely environmental impacts if use and development occur.

Step IV – Multi-resource suitability evaluation

Taken individually, each of the seven resource suitability rating maps gives only a single resource suitability assessment for any given area. A composite map is then prepared using the map transparencies and sieve techniques while allowing a grouping of the resource combinations with their respective ecologically oriented weight assessments. What results is a multi-resource suitability portrayal for any given area (Fig. 4).

Each combination of resource values and assessed weights is identified by number. In the course of the Alaska study, 559 variables were developed.

Each enclosed area is then color coded based on the combinations of resources and suitability ratings into one of three land form groupings. In the Alaska study, green was used to identify areas with potentials for use and development of resources which, with limitations, are generally amenable to man's use and development. Orange was used to indicate areas with unique, scarce or vulnerable resource values, generally reflecting low

amenability to man's use and development if the identified values are to be protected. Yellow was used to indicate areas generally amenable to man's use and development, but with critical potentials for conflict with unique, scarce or vulnerable resource values.

The process of relating each discrete area on the multi-resource suitability map to one of the three land forms recognized is a key step. Involved is an interpretation of each discrete area, a reassessment of the resource values identified, an analysis of the compatibility and/or conflicts of resource use and the formation of judgment as to which of the three categories fits the assessed area best.

This process requires the use of an interdisciplinary team of resource specialists who are familiar with the country, the resources and the abilities and constraints of the latest technology applicable to resource utilization.

In pristine areas of the Arctic and subarctic, key and sometimes even single renewable resources may be of such overriding importance that the land form grouping assigned indicates the ability of the key resource(s) to withstand environmental modification. For example, the peregrine falcon is listed as an endangered species. Nesting habitat is a critical factor, as disturbance during the nesting period can adversely affect survival. Where such sites were identified, this resource factor alone was sufficient to overshadow other resource ratings, to place the area in the low amenability grouping.

With these kinds of judgments involved, the interaction of a knowledgeable interdisciplinary team is mandatory to arrive at such consensus determinations.

The result of this process was a color-coded map of Alaska which portrayed the sensitivity of any given area to man's use and development, always with the proviso that control on such use and development is exercised through appropriate application of known technology.

MANAGEMENT UTILIZATION

The planning approach described is not designed to tell the land manager what areas should or should not be used and/or developed. This approach does flag, for the manager's consideration, the potential magnitude of environmental impacts which can be anticipated with use and development of a given area. The gross stratification developed also assists the manager in establishing priorities for more detailed studies, analyses, and land use planning efforts.

A study of this type can also be of value in the development of environmental analyses for proposed major developments and especially so for proposed lineal developments such as pipelines and roads which may transect hundreds of miles and a multitude of ecosystems.

ENVIRONMENTAL ANALYSIS

Another valuable tool available to the land manager is a process of environmental analysis, which requires a close look at a specific proposed action or series of proposed actions and the potential impact on the environment. This kind of analysis is a mandatory obligation on the part of Federal land managers under the terms of the National Environmental Policy Act of 1969, commonly referred to by its acronym, NEPA.²

NEPA is of major significance to planning and regulation of man's activity in the Arctic. The declared purposes of this very important act are:

"To declare a national policy which will encourage productive and enjoyable harmony between man and his environment; to promote efforts which will prevent or eliminate damage to the environment and biosphere and stimulate the health and welfare of man; to enrich the understanding of the ecological systems and natural resources important to the Nation; and to establish a Council on Environmental Quality."³

²National Environmental Policy Act (NEPA) 83 Stat. 852 (1970).

³Ibid.

The profound impacts of man's activities on the natural environment are recognized in the Act as it points out the responsibility of the Federal government to improve and coordinate Federal actions to achieve the following goals:

"(1) fulfill the responsibilities of each generation as trustee of the environment for succeeding generations;

(2) assure for all Americans safe, healthful, productive, and esthetically and culturally pleasing surroundings;

(3) attain the widest range of beneficial uses of the environment without degradation, risk to health or safety;

(4) preserve important historic, cultural and natural aspects of our national heritage, and maintain, wherever possible, an environment which supports diversity and variety of individual choice;

(5) achieve a balance between population and resource use which will permit high standards of living and a wise sharing of life's amenities; and

(6) enhance the quality of renewable resources and approach the maximum attainable recycling of depletable resources."⁴

A major component of the administrative section of the Act requires a public environmental impact statement process that examines the proposed Federal action for effects on the environment. This administrative section, 102(2) states:

"(A) utilize a systematic, interdisciplinary approach which will insure the integrated use of the natural and social sciences and the environmental design arts in planning and in decisionmaking which may have an impact on man's environment;

(C) include in every recommendation or report on proposals for legislation and other major Federal actions significantly affecting the quality of the human environment, a detailed statement by the responsible official on--

(i) the environmental impact of the proposed action,

(ii) any adverse environmental effects which cannot be avoided should the proposal be implemented,

(iii) alternatives to the proposed action,

(iv) the relationship between local short-term uses of man's environment and the maintenance and enhancement of long-term productivity, and

(v) any irreversible and irretrievable commitments of resources which would be involved in the proposed action should it be implemented."⁵

^{4,5}Ibid.

Thus the NEPA process becomes part of the planning and decision system and an integral component which insures selection of options to meet identified goals and objectives.

CONCLUSIONS

The Arctic and subarctic regions of North America are being subjected to increasing developmental pressures because of the intensified search for non-renewable resources, particularly for oil and gas. One technique for a rapid overall planning assessment for large areas has been described in this paper. Planning with the use of this technique (or other similar planning efforts), and with the process of environmental analysis will assist the land manager in guiding and regulating man's use and development in Arctic regions.

These tools, however, are essentially crude because of the small scale involved, the general lack of site-specific data and a constantly evolving technology. No amount of planning and environmental analysis can obviate the need for a strong management posture of constant surveillance of on-going operations coupled with the capability, authority and flexibility to adjust operations on the ground. Specific authority is needed to require adherence to control and protective requirements in permitted activities, while flexibility is needed to tighten or loosen restrictions as situations and technology change.

Given the basic ingredients of strong planning efforts, environmental analyses and a strong management position, the utilization of Arctic resources can occur with a light touch, conserving with minimum impairment the basic long-term productivity of the Arctic ecosystems.

Ч. Мак Ви
(США, Анкоридж, Аляска)

**РАЗРАБОТКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ
АЛЯСКИ.— ПЛАНИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ,
УМЕНЬШАЮЩИХ УЩЕРБ, НАНОСИМЫЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЕ**

Арктика является неосвоенным районом северного полушария. Рост энергозапросов и развитие новых технических средств способствуют освоению этого района. Ввиду уникальности арктической природы и уязвимости северных экосистем этот район должен осваиваться в будущем очень осторожно во избежание нарушения природного равновесия. Планирование землепользования, основанное на исследованиях прошлых лет и текущих исследованиях, может предотвратить и уменьшить ущерб, наносимый окружающей среде. Постоянный контроль и изучение форм и методов эксплуатации природных ресурсов должны вовремя сигнализировать о проблемах, связанных с их освоением. Планирование и контроль в сочетании со своевременными изменениями планов и методов ведения работ является ключом к решению вопроса об уменьшении ущерба, наносимого арктическим экосистемам.

Знание природных биологических систем, геологии и климата — вот основа планирования землепользования. Планы землепользования, ставящие основной целью предоставление работы населению или повышение доходов семьи, очень часто оказываются несостоятельными. Все земельные участки и природные ресурсы, т. е. лес, минералы, нефть, газ и пр., имеют предел продуктивности, определить который нелегко. Иначе дело обстоит с возобновимыми ресурсами. Исходя из того, что желательно сохранять постоянный уровень продуктивности годовая норма эксплуатации природных ресурсов становится функцией годового прироста продукции. Что касается невозобновимых ресурсов, то годовое потребление дает возможность определить темпы их эксплуатации. Итак, планирование землепользования должно строиться на основе знаний о земле, ее потенциальной продуктивности и возможностях.

Уровень детализации, необходимый для принятия решений бывает различным и зависит от того, к чему должно привести принятое решение. Например, региональное зонирование, в процессе которого выделяется территория для промышленного освоения и использования, может быть основано на обобщенной, но точной информации, а планирование годовой рубки леса должно базироваться на знании годовых темпов роста, восстановления, гибели леса, а также воздействия его рубки на окружающую среду.

Планирование, а затем эксплуатацию больших территорий, характерных для Арктики и Субарктики, природные ресурсы которых ранее не использовались, следует начать с анализа, состоящего из трех стадий.

Первая стадия — описание и нанесение на карты и схемы следующих характеристик природной среды:

- 1) топографии;
- 2) гидрографии;
- 3) геологии;
- 4) почвы;
- 5) растительности;
- 6) существующих поселений;
- 7) климата.

Вторая стадия — картирование природных ресурсов:

- 1) районов полезных ископаемых;
- 2) месторождений нефти, газа;
- 3) районов промысла диких животных, причем главное внимание следует обратить на районы с особо уязвимой природной средой;
- 4) районов отдыха;
- 5) лесов имеющих промышленное значение;
- 6) районов, которые можно использовать для сельского хозяйства.

Третья стадия — установление элементов, ограничивающих хозяйственное использование:

- 1) почв (районы вечной мерзлоты классифицируются в зависимости от содержания льда);
- 2) сейсмических зон и зон сброса;

- 3) районов, подверженных наводнениям;
- 4) районов, подверженных цунами;
- 5) климатических характеристик.

Эти три этапа могут быть тесно связаны между собой, а также с проблемой охраны окружающей среды. Кроме того выясняется, что существует конфликт между разработкой природных ресурсов и сохранением природных ландшафтов. Определяются дополнительные формы использования земель и одновременно их обслуживание транспортом, для этого выделяются наземные коридоры. В результате тщательного и всестороннего анализа определяется площадь территории, которой наносится ущерб разработкой природных ресурсов, и площадь территории, пригодной для эксплуатации при условии выполнения требований охраны окружающей среды. Последняя категория земель может быть освоена без серьезных нарушений и значительных затрат. Эксперимент по освоению и эксплуатации территории без нанесения ущерба окружающей среде проводился на Аляске. На землях штата были выделены несколько сотен комплексов. Такое районирование необходимо руководителю, который решает, как должны использоваться земли. Это необходимо особенно в тех случаях, когда последствия такого использования являются необратимыми. Следует установить нужные транспортные системы, а также возможность размещения и количество рабочей силы. Выявляются территории, не подлежащие промышленному освоению. Особое значение для планирования и регулирования деятельности человека в Арктике имеет Закон о национальной политике по охране окружающей среды, принятый конгрессом США в 1969 г.

«Государственная политика должна обеспечить гармонию человека и среды и биосферы и способствовать росту благосостояния и улучшению здоровья людей; расширить представления об экологических системах и природных ресурсах государственного значения. Создать Совет по контролю за качеством окружающей среды». Закон устанавливает ответственность федерального правительства за совершенствование и координацию действий правительственных учреждений в достижении следующих целей:

1. Установлении ответственности за сохранность окружающей среды каждого поколения перед будущими поколениями.
2. Сохранении для всех американцев здоровой, продуктивной и удовлетворительной в эстетическом и культурном отношении природной среды.
3. Определении формы эксплуатации природных ресурсов без деградации природной среды, опасности для здоровья, или других нежелательных последствий.
4. Сохранении важных исторических, культурных и природных аспектов нашего национального богатства и сохранении, если это возможно, окружающей среды, удовлетворяющей индивидуальные потребности людей.
5. Достижении равновесия между населением и использованием ресурсов, что обеспечит высокий уровень жизни и равные возможности для всех людей наслаждаться благами жизни.
6. Улучшении качества возобновимых ресурсов и обеспечении максимального возобновления истощаемых ресурсов.

Закон о национальной политике по охране окружающей среды предусматривает необходимость широкого общественного обсуждения всех государственных мероприятий, влияющих на окружающую среду; в разделе 102—С этого закона записано: каждая рекомендация или сводка предложений для включения в законодательство, либо другие государственные мероприятия, существенно влияющие на качество среды обитания человека должны быть всесторонне обоснованы органами—исполнителями, такое обоснование должно включать:

- 1) влияние предлагаемых мероприятий на природную среду;
- 2) перечень неблагоприятных последствий, избежать которых нельзя, если предложение будет осуществлено;
- 3) варианты предлагаемого мероприятия;
- 4) связь между локальными кратковременными мероприятиями с использованием природной среды и сохранением и увеличением ее продуктивности в течение длительного промежутка времени;
- 5) перечень необратимых и невозместимых изменений в природной среде, если предлагаемое мероприятие будет осуществлено.

Итак, Закон о политике по охране окружающей среды является частью системы планирования, он способствует правильному выбору мероприятий, направленных на решение поставленных целей.

RESOURCE DEVELOPMENT AND RELATED ENVIRONMENTAL CONCERNS IN ARCTIC ALASKA – IMPACT ON NATIVES

David M. Hickok*

INTRODUCTION

Alaska Natives, particularly the Inupiat of arctic Alaska, live closer to the land and the sea than most other Americans. For several centuries their ancestors exercised "dominion" over the land and resources which provided them with the requirements upon which they built one of America's most remarkable Native cultures. Historically, they took from the land only what they needed. Time and the thrust of western civilization into arctic Alaska has not altered this fundamental Inupiat concept of the land as the provider.

The Inupiat are realists. Today, just as in the past, they accept and use those aspects of western culture which enhance their livelihood and survival and at the same time retain those values and pursuits which have maintained them for centuries. Prior to the 1940's and the beginning of the modern era of resource development in arctic Alaska, the Inupiat experienced two centuries of western contact: periods of exploration, exploitation of whales and other marine mammals, the fur trade, and the introduction of new concepts of government, religion, and education. All were dealt with by external acceptance and participation but also with an internal passivity and resilience which retained the Inupiat identity. This identity is strong today, perhaps even stronger than a century ago due to the events of the past three decades. I think it is becoming even stronger.

BACKGROUND

This retention and strengthening of the Inupiat identity has taken place during a time when many non-western cultures of the world have been decimated, subdued, or amalgamated by recurring social, economic, and technological changes, introduced disease, the traumas of alcohol, and the forced separation of families for educational and government convenience.

I will not dwell on this, but the historic fact is that change in the Alaskan Arctic has most often been brought about by external forces. In order to understand the pressures on the Inupiat people today a perspective of the most influential events of recent time is useful.

World War II emphasized the strategic importance of the Inupiat territories, and consequently, defense installations were built throughout the Arctic and Alaska generally. Government interest continued in the Arctic in the postwar years. Military construction and scientific research provided new sources of income for the people, and improved transportation, greater educational opportunities, and health facilities were made available.

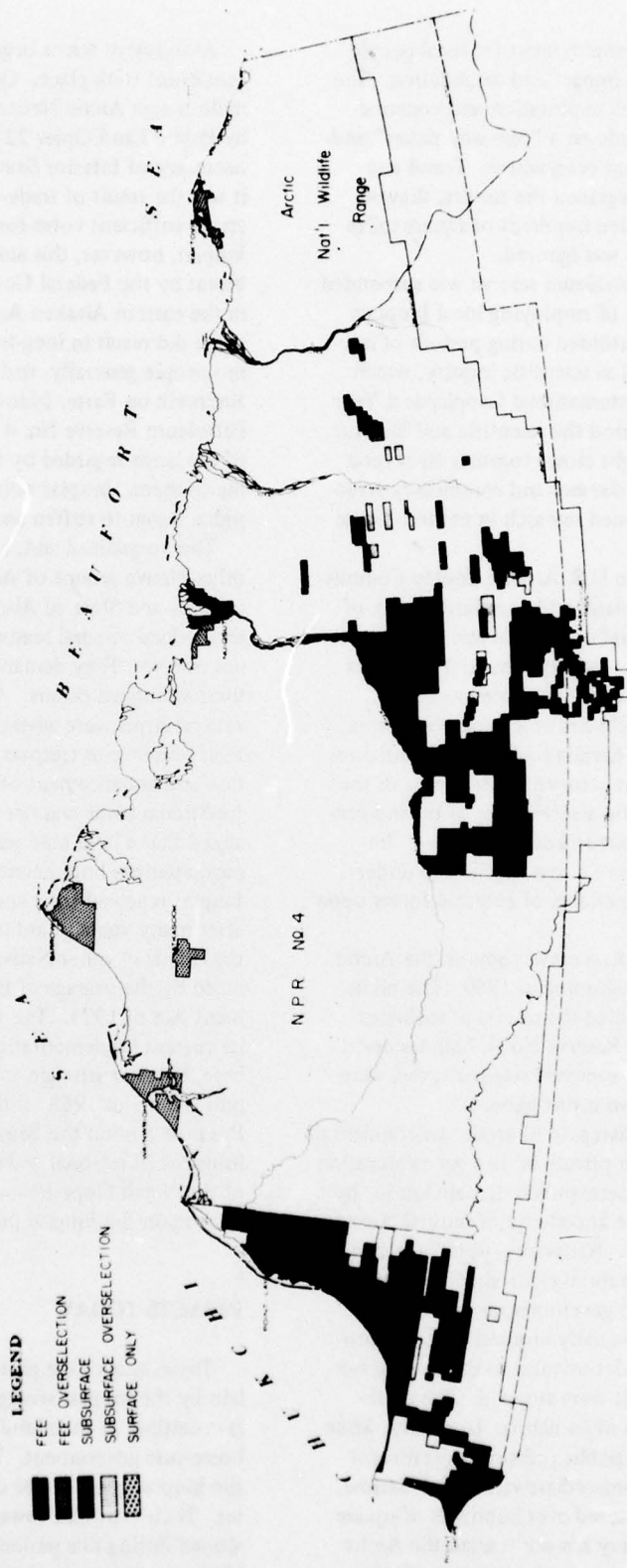
When the government initiated a major oil exploration program in Naval Petroleum Reserve No. 4 in Inupiat territory, it launched a new era in the Alaskan Arctic. From 1944 to 1953 exploration within the reserve provided a long period of employment for local people and the beginnings of a true cash economy. Exploration of the reserve and other governmental interests led to the establishment of the Naval Arctic Research Laboratory at Barrow in 1947. This action provided additional local employment, affirmed a long-term federal commitment to arctic research, and involved the Inupiat with individuals and ideas from around the world.

The effects of this scientific effort combined with the involvement of the Inupiat people from 1947 until now cannot be overstated. Scientists who worked out of Barrow covered the entire Alaskan Arctic and the polar sea. They depended greatly on Eskimo support. Equally, the Inupiat learned from the scientific community. Gradually, this cooperation produced a basic knowledge of the environments and resources of the Arctic which has just recently begun to be understood and utilized by government and economic interests.

Additional exploration of the petroleum reserve and subsequent construction of communications installations between 1953 and 1957 brought modern science

* Director, Arctic Environment Information and Data Center, University of Alaska, Anchorage, Alaska.

ARCTIC SLOPE LAND SELECTION



to the Arctic and more employment for local people as well as environmental impact and degradation. The Federal Government took exploration and construction materials to the Arctic on a "one-way ticket" and left debris and destruction everywhere. Travel and construction activities degraded the tundra, thawed the permafrost, and eroded hundreds of square miles because scientific advice was ignored.

Exploration of the petroleum reserve was suspended in 1953, but the pattern of employing local Inupiat as support personnel continued during periods of military construction as well as scientific inquiry, which accelerated during the International Geophysical Year in 1957. During this period the scientific and Eskimo communities were brought closer together by several investigations of Native diseases and community structure as well as by continued research in natural Arctic phenomena.

During 1957-1958 the U.S. Atomic Energy Commission funded a comprehensive and correlated study of environmental and Inupiat socioeconomic conditions prior to Project Chariot — an experimental harbor excavation by nuclear device to be located at Cape Thompson on the Chukchi Sea coast near the Inupiat villages of Pt. Hope and Kivalina. After substantial research, the combined environmental awareness of the scientists involved and the assertiveness of the indigenous peoples brought about an end to this idea. Importantly, this process gave a new urgency to understanding more about the effects of external forces upon Inupiat life.

Oil company exploration crews came to the Arctic in significant numbers beginning in 1959. The oil industry had carefully studied the results of earlier explorations in Petroleum Reserve No. 4, had discussed arctic prospects with government scientists, and were ready to launch their own investigations.

In the mid-60's the disregard of arctic environmental concerns continued with private oil and gas exploration on state-selected and federal public domain lands. By this time, however, more knowledge of natural Arctic conditions was available. Nationally, public interest and concern about the natural environment was growing. Some scientists and governmental officials, the Inupiat people, and a generally aroused citizenry protested against practices detrimental to the natural systems of the Arctic. Most were stopped. The oil industry cleaned up much of its debris. Ironically, while industry complied with public pressure, government did not. Except in the immediate vicinity of Barrow, debris has been left scattered over hundreds of square miles of tundra. The Navy has contracted the Arctic Slope Regional Corporation to clean up part of the petroleum reserve during 1976.

As industry teams began their work, another significant event took place. On December 6, 1960, the 8.9-million-acre Arctic National Wildlife Range was created by Public Land Order 2214. This action by outgoing Secretary of Interior Seaton surprised many. Actually, it was the result of trade-offs made in the Congress to assure sufficient votes for Alaskan statehood. To the Inupiat, however, this action looked like a potential threat by the Federal Government to Inupiat dominion in the eastern Alaskan Arctic. The establishment of the range did result in long-term consequences for the Eskimo people generally, and particularly for the villagers of Kaktovik on Barter Island. This wildlife range and Naval Petroleum Reserve No. 4 encompassed more than half of the lands regarded by the Eskimo people as belonging to them. Inupiat attitudes toward their legal land rights began to stiffen and become vocal.

They organized and, by the mid-1960's, united with other Native groups of Alaska to legally protest selections by the State of Alaska under the Statehood Act and federal mineral leasing east and west of the petroleum reserve. They demanded that Government settle their aboriginal claims. Additionally, the State and private oil firms were advised that the Inupiat regarded their presence as trespass on these lands. Self-determination and enhancement of life without formal title to their traditional lands was deemed impossible. They fully realized that a land base was essential to equal societal participation, both economic and political. Thus, the Inupiat renewed their ancestral claims to the land, and after many years of arduous struggle, their claim and the claims of other Native groups in Alaska were recognized by the passage of the Alaska Native Claims Settlement Act of 1971. The story of this act's passage and its current implementation cannot be completely told here, but that struggle and the events leading up to it plus the major 1968 oil discovery and development at Prudhoe Bay on the Beaufort Sea coast, and the establishment of regional and local government in the form of the North Slope Borough all have had profound effects upon the Inupiat people.

IMPACTS TODAY

The events of the past three decades have been underlain by the Inupiat struggle for equal opportunity under law, settling of their land claims, and the structuring of home-rule government. The physical circumstances of the Inupiat people have changed, generally for the better. Their attitudes towards themselves and others have altered during this period of near sociological revolution. Moreover, they are, from all points of view, most politically aware of the external forces affecting their lives.

economic, social, and political. Intrinsically, however, the people are unchanged. They remain the Inupiat — "the People" — with their own values and aspirations, and while they fully belong to the American community, they yet retain their own special identity. For most Americans, who are the result of western civilization's "melting pot" of ethnic origins, this is difficult to understand, but it is an essential part of the current circumstances affecting arctic Alaska.

For Alaskans who care to reflect on the situation in our North today, two elements are unsettling or, at least, ironic. These are the inordinate influence of federal program decisions and dollars over state and local concerns and the rush into new arenas of federal involvement before other, earlier-agreed-to courses of governmental action have taken place. Obviously, the two are closely interrelated, and they create a tangled web of bureaucratic programs. The Inupiat and other Native groups are most affected by programs related to resource development in the arctic environment since their life-style is so closely tied to the land.

Beyond this major set of circumstances there are two other fundamental effects — increased employment, much of which is self-employment, and the very great concern the Inupiat have over any governmental action that may affect the management or availability of fish and wildlife resources.

During 1971 and 1972 the major federal decisions that affected resource development and the environment in Alaska were the passage of the Alaska Native Claims Settlement Act and the authorization to build the trans-Alaska pipeline from Prudhoe Bay to Valdez, Alaska. The dialogue surrounding these two issues was intertwined in both the legislative and executive branches of the federal government as well as in the several sectors of Alaskan society. A dominant, often expressed theme of that time was the need for rapid and expedient action on both. Congress particularly stressed urgency and made the immediacy of land conveyance to Alaska Natives a legislative mandate.

In many, many ways, Alaskans in all walks of life were swept up in the wake of these two federal decisions. The U.S. Department of Interior began to implement the settlement act by withdrawing lands for Native selection and those that might be later included into national land systems. Regulations, of course, proliferated. Native groups established the corporations through which the compensatory assets of the act were to be received. The Inupiat became deeply involved in setting up and operating their Arctic Slope Regional Corporation and eight village corporations. At the same time they successfully established home-rule government under Alaska law in the form of the North Slope Borough.

Simultaneously, the Department of the Interior was gearing up for its pipeline surveillance responsibilities. The State did likewise. The private sector boomed with supply and service contracts that directly or indirectly supported pipeline activity. Other government agencies and the academic community were also committing their resources to investigations on pipeline, environmental, or economic matters. In effect, nearly the entire public and private sectors of Alaska were involved in programs related to either the land claims settlement or pipeline construction.

Hardly noticed amidst this activity were portents of new problems and areas of involvement for the federal agencies themselves, newly formed Native corporations, state and local government, and the private sector — developmental and conservation groups alike. But noticed or not, they were beginning to appear. Discussions on national energy deficiency were beginning and interest grew in Alaskan outer continental shelf oil and gas exploration, additional oil and gas pipelines or other delivery systems for fossil fuels from the North Slope to the contiguous "lower 48" states, and the exploration and possible development of Naval Petroleum Reserve No. 4. As the seeds of new energy-related programs were being planted, other public concerns over environmental and socioeconomic impacts were also being addressed. Competition in the Congress over national land use planning versus coastal zone management planning was taking place. The Marine Mammals Protection Act, born out of concerns not directly related to Alaskan waters and environs and in most ways scientifically fallacious with regard to Bering Sea and Arctic Ocean populations, nevertheless exerted major impact on state management and on utilization of marine mammals by Alaskans.

By 1974 the infrastructure to support many of these new energy resource use, transportation, and environmental programs was in place. This created still more impact on Alaska. In the past two years, 1974 to 1976, several more, primarily federally induced programs have sprung up. The list now includes construction and environmental planning for a new gas pipeline or delivery system from the Arctic to the "lower 48" states; exploration, land use planning, and environmental studies of Naval Petroleum Reserve No. 4; exploration, environmental and socioeconomic studies on oil and gas leasing on Alaska's outer continental shelf; plans, studies and legislation for additions to national conservation systems; implementation of coastal zone management; and planning for new major transportation systems to serve potential resource development areas.

In only four years the impact of federal programs on all facets of Alaskan society has increased about 400 to 500 per cent. To the Inupiat people particularly,

and other Native groups as well, this is an unsettling situation. Their land has not been conveyed, and without land title their economic ventures are more costly due to credit arrangements and lost income from planned leasing agreements. Titles to housing and community improvement projects are in constant jeopardy. Most importantly, each new federal program seems to encroach on or remove valuable assets from their specified entitlements under the Alaska Native Claims Settlement Act. Coping with a myriad of federal activities in the area is a constant problem, and the impact on their relatively small cadre of skilled personnel and leaders is severe.

Bureaucratic competition further impacts the Native community. The leaders of the Arctic Slope Regional Corporation, village corporations, and the North Slope Borough find themselves answering the same questions over and over again because the information is rarely shared. The amounts of time, money, and frustration this causes are substantial, and it necessarily reduces the effort they can spend on their own affairs. One example is in the Cape Thompson region and also at the village of Atkasook. Lands legally withdrawn for Inupiat selection have been applied for by the people. On these same lands scientific interests are pursuing environmental research programs and planning future ones. The Eskimo people, cognizant of the value of such research, are willing to execute cooperative agreements to permit access to their lands. The federal government, however, feels that its interests transcend the Inupiat's legal rights, and it is trying to prevent the granting of land title in the name of scientific inquiry. This worrisome problem not only delays conveyance of the land title, but also requires the Natives to spend their energy and money fighting an activity that they fundamentally agree with.

All impacts of arctic resource and environmental concerns have not been adverse; some, in fact, have proved very beneficial. Foremost has been the ability of the Inupiat to use the mechanisms and monetary benefits of the Alaska Native Claims Settlement Act to actively share in the economic growth of the Alaska north. Importantly, this sharing of economic opportunity has been generated by the people themselves through their own corporate enterprise. Projects for new housing, better community facilities, tourist accommodations, and industry are operated under Inupiat-directed corporations. Previously, the people, when they worked at all, were employed by "outsiders." Now, they are employed by their own corporations. The income earned by the individual is generated by projects of *his* people. They now build *their* homes, *their* stores, and other facilities. This

enterprise yields rewards to both the individual and the group. Pride in self and culture has been significantly strengthened with far-reaching social, political, and economic impacts.

Caught somewhere between the burden of their involvement with government and their own economic enhancement are a set of deep-rooted concerns over the management of fish and wildlife resources in the areas of Inupiat use and occupancy. So far no one has done much more than talk about how arctic development affects these resources. Very little research has been done except for a few species over relatively small geographic areas. Management, whether federal or state, tends to be reactionary and responds more to ideas and feelings than to facts.

The Inupiat, whose way of life is so deeply rooted in the harvest of fish and wildlife resources and whose dietary preferences favor wild game, view the current public dialogue and governmental actions over these resources with great alarm. They want to know "why." They seek explanations of governmental actions with regard to caribou, waterfowl, and marine mammal regulations. Governmental statements of "that's the law," or "the biologists say" do not suffice. Allegations that *they* are to blame for declines in game populations do not fit the facts as they see them. When the Inupiat and scientists agree that more bowhead whales exist in arctic waters now than for the previous half century, the people do not understand national efforts to deprive them of their whaling culture. With their Canadian cousins they cannot accept federal law and treaty which call for the harvest of waterfowl during seasons that favor recreational hunting in the south and that are detrimental to subsistence food hunting in the north. Having witnessed the rise and fall and changing movements of the caribou herds for generations, they cannot understand arbitrary regulation without explanation and without their participation. They are seeking new approaches to these regulatory matters that will involve them. In spite of an increased reliance on the cash economy, the diet, life-style, and culture of the Inupiat dictate that the subsistence harvest of wildlife resources will remain a way of life for a long time to come.

As the Inupiat witness and participate in resource exploration and development in arctic Alaska themselves, they are particularly concerned with the impact of such activity on fish and wildlife resources. They want to know exactly what is happening. What are the trade-offs taking place between energy and economic development on the one hand and wildlife resources on the other? Who will bear this burden? The Inupiat suspect they will, and they don't like it.

CONCLUSIONS

As a result of dramatically increased governmental activity, the emerging economic self-sufficiency of the Inupiat, and a series of restraints being imposed on Eskimo use of fish and wildlife resources and the land itself, it is definitely not "business as usual" in the Arctic. Until quite recently, the impoverished Native population was largely ignored by those who sought to develop their homelands, but no longer. Today, as emerging major land owners, their cooperation is indispensable to anyone who wants to tap the region's considerable resources, and by any measure the oil deposits on the Arctic Slope are among the great ones in the world.

What does this mean for the Inupiat? They know that the environmental costs of energy exploration are highest at the local level. These inevitable changes in their physical environment could conceivably lead to unavoidable social modifications. For example, in the next 10 years several settlements of perhaps 5000 people each could evolve in conjunction with natural resource development in the region.

The elements of resource exploitation are extremely difficult to define. To Arctic Slope Regional Corporation and North Slope Borough decision makers, the resource becomes as nebulous as a "higher standard of living," as abstract as "security" or "life style," and as complex as "gross national product." The payment or sacrifice made for the extraction of resources may also be obscure, so the actual cash payment made for a service or commodity usually will not cover all social and environmental costs.

The Inupiat have always said that their interest in the land is fundamentally to ensure an environment that will yield optimum health, safety, comfort and well-being to this and future generations and will maximize the economic and cultural benefits of a healthy people. A reasonable man cannot question the wisdom of this philosophy, but he might logically inquire how it may be accomplished. The Inupiat wishes to participate in a system of environmental management that enhances man in his environment rather than always being based on the latest limits of technology. Renewable resources, they insist, must be used with cultural objectives clearly in mind. They recognize the need for competent planning to assure real and lasting benefits to the new economy of their lands and are developing high-quality management, skills, and supporting institutions to achieve this goal. Their wisdom about the land tells them that the land must be allowed to renew itself and retain its basic integrity, otherwise the long fight for self-determination will be meaningless.

The Inupiat have moved into an era of self assertion and new cultural, political, and economic identity. The Arctic Slope Regional Corporation and village corporations called for in Alaska Native Claims Settlement Act have been established, and the transfer of land title should take place shortly. Economic vitality is assured through the monetary compensation of the act and new development endeavors. The North Slope Borough has been formed and political home-rule has been achieved. It is a stirring odyssey of achievement, strength, pride, and vigor, but important issues and problems must be resolved before the future is assured.

REFERENCES

- Federal Field Committee for Development Planning in Alaska (1968) *Alaska Natives and the Land*. 565 p.
- History of Exploration, Naval Petroleum Reserve No. 4, 1944-53.
- Reed, J.C. and A.G. Ronhovde (1971) Arctic laboratory: A history (1947-1966) of the Naval Research Laboratory at Point Barrow, Alaska. Arctic Institute of North America, 748 p.
- University of Alaska (1975) Alaska regional profiles: Arctic region (L.L. Selkregg, Coordinator, Office of the Governor). Arctic Environmental Information and Data Center, University of Alaska, 218 p.
- University of Alaska (In prep.) Nunakput, our land: Environmental processes in Arctic Alaska (J.C. LaBelle, Coordinator). Arctic Environmental Information and Data Center, University of Alaska, 312 p.

Д. М. Хивок
(США, Анкоридж, Аляска)

ОСВОЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ АЛЯСКИ

В течение нескольких столетий коренные жители арктических районов Аляски обрабатывали землю и пользовались ее природными ресурсами для удовлетворения своих жизненных потребностей, однако, чтобы сохранить свою национальную культуру и обеспечить будущее своего народа, они должны были принять такое чуждое им понятие, как право собственности на землю (Л. Л. Селькрег, 1975; «Федеральный полевой комитет», 1968).

Обретение собственности на землю и получение денежных доходов привели к значительным социально-экономическим и техническим изменениям, но инуиты сумели сохранить свои национальные традиции.

Изменения, происходившие в арктических районах Аляски, часто являлись результатом действия внешних сил. Так вторая мировая война показала, какое большое и важное стратегическое значение имеет территория инуитов, и поэтому по всей территории Аляски были возведены оборонительные сооружения. Правительство продолжало проявлять интерес к этому району и в послевоенные годы. В результате были выявлены новые источники доходов для инуитов. Улучшилось их транспортное обслуживание, было построено много учебных заведений и больниц. Поддерживалось самоопределение общин. Местные муниципалитеты поддерживали экономическую стабилизацию через Кооперативную ассоциацию аляскинских местных промыслов (территориальная кооперативная организация, занимающаяся продажей и покупкой).

Работы, связанные с разведкой скважины № 4 и проводившиеся с 1944 г. по 1953 г. обеспечили занятость и устойчивые заработки для местного населения на длительное время. Эти работы способствовали также созданию Арктической научно-исследовательской лаборатории на мысе Барроу в 1947 г. и обеспечили дополнительную занятость коренных жителей. Кроме того, федеральное правительство взяло на себя многолетнее обязательство организовать изучение как природных ресурсов этого арктического района так и его коренного населения (Дж. С. Рид, 1971).

Однако освоение арктических районов Аляски не только принесло с собой возможность занять работой коренное население Арктики, но в то же время, явилось причиной загрязне-

ния и деградации природной среды: обломки пустой породы разбросаны по обширным районам тундры, происходит разрушение растительного покрова тундры, таяние многолетней мерзлоты и усиление процессов эрозии. К концу 60-х годов вплотную стал рассматриваться вопрос защиты природной среды арктического района Аляски. Кроме того, возросший к этому времени интерес к природным ресурсам и их разработке в Арктике изменил положение инуитов. В случае потери исконных земель их самоопределение было бы невозможным. В результате инуиты возобновили свои притязания на унаследованные от предков земли и после многолетней ожесточенной борьбы права инуитов, вместе с требованиями других национальных групп на Аляске, были признаны путем издания «Указа об урегулировании земельных притязаний коренных жителей Аляски» от 1971 г.

Сейчас согласие коренных жителей как основных землеладельцев необходимо при разработке природных ресурсов района, в том числе и месторождения нефти на Арктическом склоне, запасы которой стоят в числе крупнейших в мире. Вполне вероятно, что нефть и газ будут обнаружены в количествах, достаточных для рентабельной разработки, по всему северному району Аляски и поэтому разведка и разработка их месторождений, вероятно, продлится и в следующем столетии.

Изменения окружающей среды, связанные с изысканиями и разработкой энергетических ресурсов, неизбежно приведут и к социальным преобразованиям. Например, возможно, что в следующие десять лет могут вырасти несколько поселений с количеством жителей от 5000 до 7000 чел. в каждом.

Очень трудно определить, какие выгоды принесет разработка природных ресурсов стране и населению. Компенсация за нанесенный природной среде ущерб также представляется смутно. Фактическая оплата наличными деньгами за услуги обычно не покрывает всю стоимость урона, нанесенного природной среде и коренному населению.

Инуиты намеряют разработать систему бережного отношения к природной среде и правильного ведения хозяйства. Только умелое планирование обеспечит реальные и длительные преимущества новой системы использования земель. Инуиты осваивают методы правильного ведения хозяйства, готовят для этого кадры и создают специальные учреждения. Их разумный подход к использованию земли способствует возобновлению и сохранению ее основной целостности в противном случае затянущиеся переговоры о самоопределении будут бессмысленными.

RESOURCE DEVELOPMENT AND RELATED ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ARCTIC ALASKA - IMPACT ON FISH AND WILDLIFE

David R. Klein and James E. Hemming*

In arctic regions fish and wildlife resources have traditionally been the basis of support for the people living there. Now, with the accelerated exploration for petroleum products and minerals in the Arctic and the subsequent development of exploitation processes, there are new pressures being placed on fish and wildlife populations and their habitat.

The discovery of large reserves of crude oil and natural gas at Prudhoe Bay, Alaska in 1968 brought increased attention to the Alaskan Arctic as a new source of energy which could help to meet the large requirements for industrial and civilian use in the United States and help to lessen dependency on foreign oil.

The Prudhoe Bay oil field is now being developed and the Trans Alaska Oil Pipeline is over half completed. Plans are underway to build a gas pipeline to provide Prudhoe Bay natural gas to American consumers and there is widespread exploration for new oil fields throughout the Alaskan Arctic both on land and under the adjacent seas. Changing land status in Alaska as a result of the Alaska Native Claims Settlement Act of 1971 has also brought increased oil exploration to the new native-owned lands. Additionally, the federal government has recently adopted a policy of increased oil exploration and development on federally owned lands in Alaska and on the adjacent outer continental shelf.

This greatly increased scale of petroleum exploration and development in Alaska has brought with it many new and widespread influences on fish and wildlife resources. Oil exploratory activities are widely dispersed and of short duration in any one area, and are carried out with a minimum of advance planning. Consequently, it is difficult for state and federal government authorities to provide the necessary surveillance to ensure that the exploratory activities do not create unnecessary damage to the land and waters and to fish and wildlife populations. Of major concern during exploratory activities are the use of tracked vehicles on the tundra in summer which causes

scarification, erosion and stream siltation; use of explosive charges near fish spawning gravels; fuel oil or waste oil spills into waters where fish or birds may be threatened; winter depletion of water through pumping from pools in rivers and streams where fish are concentrated; disturbance to nesting raptors, waterfowl and other birds and to caribou (*Rangifer tarandus*), mountain sheep (*Ovis dalli*) and other large mammals during and right after the birth of young; improper disposal of garbage at field camps which leads to problems with bears and other carnivores; harassment of large mammals and nesting birds by low flying aircraft; and mining of gravel with subsequent siltation or destruction of fish spawning sites. Poaching of game and illegal taking of raptors for falconry are also commonly associated with oil exploratory activities.

At the present time damage to wildlife habitat through oil exploratory activities has been greatly curtailed through the establishment of state and federal regulations prohibiting the use of tracked vehicles on the tundra in summer; requiring permits for gravel mining and for the use of large amounts of fresh water for field camps or exploratory drilling and through the increase of surveillance activities. On the large Naval Petroleum Reserve No. 4 (95,000 km²) an environmental impact statement is being prepared as a basis for assessing the extent of environmental impacts which are expected as a result of extensive oil exploratory activity and to provide for the development of regulations to minimize these impacts; however, exploration has already begun before the completion of the impact statement. The U.S. Congress has also recently transferred management responsibility for this vast area from the U.S. Navy to the U.S. Department of the Interior in recognition of the importance of the fish and wildlife and other resources that exist there in addition to oil and natural gas. The state of Alaska has also established the policy of requiring environmental impact assessments prior to any large scale exploratory activity on state lands.

* Leader, Alaska Cooperative Wildlife Research Unit, University of Alaska, Fairbanks, Alaska; Joint State/Federal Fish and Wildlife Advisory Team, Anchorage, Alaska, respectively.

In cases where damage is done to the surface vegetation, which may lead to erosion, restoration through revegetation or other procedures is required of the responsible company. In addition, fines have been imposed on companies which have violated environmental regulations governing exploratory activities.

Development of oil and gas fields after their discovery creates many problems for fish and wildlife different from those associated with exploratory activities. During development, construction activities are localized and are normally preceded by intensive planning. This provides for time to carry out initial studies to assess impacts on fish and wildlife and to provide for the development of stipulations to protect fish and wildlife values or to minimize the impact of construction activities.

In the case of the Trans Alaska Pipeline there was an intensive environmental assessment made of the project and comprehensive sets of environmental and technical stipulations governing construction were developed by both the federal and state governments before authorization was granted to begin construction. This preliminary work required that numerous studies be done to provide information on the distribution, abundance and movements of fish and wildlife and their habitat requirements. Additionally, in some cases experimental work had to be undertaken to determine the effects of certain construction activities on fish and wildlife populations. These involved studies of the reaction of caribou to various pipeline construction modes, of the swimming ability of fishes, of the reaction of animals to low flying aircraft, etc. On the basis of the preliminary fish and wildlife investigations the planned locations of construction camps, airports, pumping stations, communication sites, gravel pits and access roads were in some cases modified to minimize direct impacts to fish and wildlife. This included moving communication sites away from raptor nesting cliffs, rerouting of the pipeline and haul road away from mountain sheep lambing areas and fish spawning areas, and location of gravel pits where impact on fisheries could be minimized or to enable the abandoned pits to be flooded and developed for fisheries production.

Approximately 72% of the pipeline route is on federal land and most of the remainder is on state land. Both the federal and state governments established special agencies to oversee the pipeline construction to ensure that environmental and technical stipulations are being met and to provide for assistance to the construction companies in solving problems encountered in the field. There are approximately 160 people involved in pipeline surveillance work, including

117 federal and 43 state. These include a joint team of federal and state fisheries and wildlife biologists who work together along the pipeline and coordinate their activities with the central offices in Anchorage.

Fisheries problems of pipeline construction

Construction of the pipeline across streams was prohibited during fish spawning and migration periods and a 100-meter buffer of undisturbed vegetation was required along all water bodies. This proved to be inadequate and because of siltation from denuded stream banks, chronic water pollution problems associated with construction camps and the frequency of fuel spills in the camp areas, a 450-meter buffer zone is now recommended to protect aquatic resources.

More than 1600 stream crossings will be made on the pipeline project and most of these streams support fish populations. On small streams, culverts or low water crossings (fords) were initially used on the pipeline workpad; however, the culverts often increased water velocities so that fish could not pass, and they would often ice up in winter and wash out during spring runoff unless special fuel oil heaters were used to keep them open. It was found that grayling (*Thymallus arcticus*), one of the most common fish in streams along the pipeline, could swim against water velocities of up to 1 meter per second; however, the construction company chose maximum culvert velocities of 1.2 meters per second as its design criteria. Grayling, however, can apparently accommodate up to a five-day delay in their spawning migration before reproduction is affected. At low water crossings coarse rock was laid on the stream bed to support vehicle traffic, but in most cases this proved inadequate to prevent excessive turbidity downstream of the crossings when heavy construction vehicles were being used. It is now recognized that bridges, while initially more expensive, require less maintenance and pose fewer threats to fisheries.

Several pipeline crossings of rivers were completed in winter when water flow rates were low; however, removal of ice to allow ditching in some cases required blasting because of failure of ice cutting equipment. Concern for eggs of king salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and whitefish (*Prosopium* sp.) in gravels in the adjacent river necessitated using numerous small blast charges without simultaneous detonation, rather than large explosions, to prevent settling of the gravel and consequent destruction of eggs or young fish in the gravel, or the stimulation of premature hatching of the whitefish eggs.

During initial stages of pipeline and haul road construction improper mining of gravel took place within active flood plains, resulting in rechannelization (Fig. 1)



Figure 1. Channelization of the Dietrich River in the Brooks Range for the convenience of road and pipeline construction has led to accelerated bank erosion, stream siltation and excessive stream velocities, all of which have negative effects on fish spawning and migration.

and changes in stream hydrology with attendant reduction in the productivity of aquatic organisms, siltation of downstream areas and the creation of velocity barriers to fish movement. Since approximately 52,000,000 cubic meters of gravel will be required for the project, it was apparent that stronger regulations governing gravel mining were required (Fig. 2). Both the state and federal governments now require that each gravel mining request include a site description, excavation plan, drainage design, work schedule, location of waste disposal sites, quantity to be mined and rehabilitation procedures.

In winter in the Arctic and Subarctic there is often a very limited supply of potable water for use in construction camps. Direct pumping from major rivers is often the only practical method of obtaining water. Problems were encountered when large volumes of water were removed from pools beneath the river ice

where resident fish species are concentrated in winter. Fish may enter the pumps if intakes are not properly screened and, where water is limited, the drawing down of the water may result in death of the overwintering fish.

Because of the low flow volume of northern rivers in winter and their low dissolved oxygen content, the disposal in them of even secondary treated sewage effluent may cause serious damage to aquatic life. Biological sewage treatment plants were first used in the construction camps but they proved to be largely unsuccessful and were replaced by physical/chemical treatment units which, although still not up to the standards desired, were able to handle higher organic loading and fluctuations in hydraulic loading while producing effluents more closely approaching prescribed levels.



Figure 2. The mining of large amounts of gravel for pipeline construction poses threats to fisheries and often destroys riparian habitat for moose and other wildlife. The use of sheets of rigid polyurethane foam to insulate the underlying tundra has resulted in substantial reductions in the amount of gravel required for workpad construction.

Wildlife problems of pipeline construction

When the Trans Alaska Pipeline was initially proposed, biologists expressed concern over the possible influence of a large diameter pipeline on the movement of caribou and moose (*Alces alces*). Studies by the Alaska Cooperative Wildlife Research Unit revealed that caribou react negatively to an elevated pipeline and cross under or over aboveground pipelines in numbers only when being harassed by insects. The Alaska Department of Fish and Game found that moose will move under elevated pipe of suitable height above the ground. In order to obtain relatively free passage of large mammals special criteria for crossings were prepared. In areas occupied by moose and bison (*Bison bison*) it was considered necessary for the minimum clearance between the ground and the bottom of the pipe to be 3 meters at special crossings. These

crossings were a minimum of 18 meters wide and were located at traditional animal crossing points and at intervals of approximately 600 meters. Where passage for caribou was necessary, burial of the pipe was considered the only procedure which would allow free passage of caribou although it was recognized that some caribou would pass under an elevated pipe approximately 2 meters above the ground. Where permafrost containing large amounts of ice occurred, it was necessary to provide special mechanical refrigeration of the buried pipe to insure its integrity in the soil. Each of these, however, requires a special building with motors and pumps and they are very costly. The pipeline company was therefore very reluctant to provide such special crossings for caribou. Two of these special buried and refrigerated caribou crossings, averaging 3.1 kilometers in width, were constructed.



Figure 3. Bears have been a continuing wildlife problem at the pipeline construction camps. Even with proper garbage disposal, including incineration, food handouts by workers habituate bears to the camps which usually leads to their destruction.

Additionally, 23 short buried sections 20 meters in width, and supported by adjacent aboveground sections, were provided, but these were not considered by biologists to be wide enough to provide for the free movement of large numbers of caribou. It should be noted, however, that of the total pipeline, approximately 230 kilometers will be buried where gravels or other stable soils exist and many of these buried sections coincide with caribou and other large mammal movement zones. A total of 458 large mammal crossings have been included in the design of the pipeline, and after construction these will be monitored to evaluate their use by wildlife.

In several cases requests for mining of gravel or other materials were denied because of the possible impact on wildlife. This happened when the proposed material sites were located adjacent to peregrine falcon (*Falco peregrinus*) nesting areas (an endangered species

in the United States), within mountain sheep lambing areas or where mining below the water table would result in permanent loss of riparian vegetation of primary importance to moose in winter.

Direct feeding of animals by construction workers and attraction of animals through improper handling of waste food material has been a serious problem during pipeline construction. The animals involved have been the black bear (*Ursus americanus*), grizzly bear (*U. horribilis*), wolf (*Canis lupus*), arctic fox (*Alopex lagopus*), red fox (*Vulpes fulva*), arctic ground squirrel (*Citellus undulatus*), glaucous gull (*Larus hyperboreus*) and raven (*Corvus corax*). Although regulations require prompt incineration of waste food material at construction camps and provide for disciplinary action against workers feeding animals, through carelessness and disregard for regulations, animals are regularly attracted to the construction areas (Fig. 3).



Figure 4. This pipeline worker offering food to a wolf in the interests of photography is both breaking the law and leading to the degradation and possible death of the wolf.

This leads to potential hazards to the animals as well as the construction workers. Animals accustomed to being fed are often killed when struck by vehicles on the road system or they become prey for poachers. Bears often cause damage to buildings and equipment or pose threats to the workers and have to be destroyed. Rabies was expected among the foxes and a few workers were bitten while feeding them. As yet no rabies has been found in animals along the pipeline but an outbreak of the disease could pose a serious threat to the wolves and lead to the widespread killing of foxes.

There is some evidence that feeding may alter seasonal behavior patterns and normal migratory movements. Grizzly bears receiving food at construction camps were observed to remain active for up to a month after their normal denning time and glaucous gulls remained near construction camps on the tundra

until late November instead of migrating south in September as is normally the case.

The wildlife feeding problem can be greatly curtailed if all garbage facilities are fenced and waste food is promptly incinerated at construction camps. Buildings should also be skirted so that they cannot be used as shelters or for denning purposes. Education of workers about the dangers of rabies and possible injury through feeding of animals as well as the harm done to the animals is also helpful but this must constantly be reinforced in the camps. The interest in photography and apparently the psychological satisfaction involved in animal taming tend to override concern for the well-being of either the workers or the animals (Fig. 4). Unfortunately the tamed animals are degraded in both an aesthetic and ecological sense.

Studies in the use of emetics to discourage bears, wolves and foxes from accepting food from humans



Figure 5. Dust blowing from the pipeline haul road in late winter and spring causes premature snow melt on the adjacent tundra. The exposed vegetation is an attraction for caribou and migrating waterfowl and results in early nesting of some bird species. The ecological consequences of this phenomenon are not understood.

have had limited success. Lithium chloride (LiCl) was offered in food items.

Control of ground and air traffic was necessary under some circumstances to avoid harassment to wildlife. This included a restriction of all ground and air traffic within 800 meters of known peregrine falcon nests from 15 April to 15 August. Similarly, construction of the pipeline haul road in 1975 was restricted in the Brooks Range during the mountain sheep lambing period. Studies of the reaction of caribou to low flying aircraft indicate that flights below 100 meters can result in physiological stress and injury while flights over 150 meters usually do not cause reaction by the animals. As a result minimum flight levels have been prescribed for aircraft over animal concentration areas such as caribou calving areas, mountain sheep winter concentration and lambing areas and moose wintering areas.

Numerous additional fish and wildlife problems have come to light during the construction process which may have long-lasting ecological consequences; however, additional studies are required to monitor the changes which may take place. One such problem is the early snow melt on the tundra adjacent to the haul road as a result of dust blowing from the road onto the snow (Fig. 5). The early exposure of vegetation attracts caribou, waterfowl and other birds to feed and in some cases early nesting is associated with high nest failure. Oil used to control the dust on the road has also been carried onto the adjacent vegetation in road spray during wet weather (Fig. 6). The possible effect of this oil on the plants or on the animals feeding on the plants is not known.

The pumping stations for the pipeline south of the Brooks Range will each release into the atmosphere approximately 450 tons of sulfur dioxide and several



Figure 6. Oiling of the pipeline haul road to control road dust has resulted in the dispersal of oil, mixed with silt and water in road spray, onto the adjacent tundra downwind of the road as shown here. The consequences of the oil on the vegetation and the animals feeding on it are not known and should be the focus of investigations.

times that amount of nitrogenous products each year. Studies are just being initiated to assess the effects of the fallout of these pollutants on vegetation and particularly on lichens which are so important as food for caribou in winter.

Of concern in the future is the impact to be felt on fish and wildlife if the haul road from the Yukon River to Prudhoe Bay is opened to the public upon completion of pipeline construction. Fish and wildlife populations in arctic regions do not have the productive capacity of similar populations further south and they will not be able to withstand intensive recreational and subsistence fishing and hunting. At the present time, during pipeline construction, the Alaska Board of Fish and Game has closed the entire pipeline corridor north of the Yukon River to hunting and fishing. Currently, the state of Alaska is developing policy to govern the use of the road in the future

and this may include restricted use by the public but with continued industrial use for oil field development and to facilitate the construction of a natural gas pipeline from Prudhoe Bay across Canada or to a southern Alaskan port.

The Trans Alaska Pipeline is the largest construction project ever undertaken and it is being built in a northern environment previously unaltered and rich in fish and wildlife resources. Because of the magnitude of the project, it is inevitable that its impact on fish and wildlife resources will be great. On the other hand, because of the long period of advance planning involved, the detailed studies undertaken and the active participation of both the state and federal governments in the development of environmental stipulations, the impact of the project on fish and wildlife resources will be minimized. Although numerous problems with fish and wildlife resources have developed, no similar

project has ever had such close scrutiny by biologically trained observers. The project itself is also the source of much needed information on pipeline construction in arctic and subarctic environments.

Д. Р. Клайн

(США, Фэрбенкс, Аляска)

Д. Е. Хемминг

(США, Анкоридж, Аляска)

**РАЗРАБОТКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В АРКТИЧЕСКОЙ АЛЯСКЕ.—
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЫБ И ДИКИХ ЖИВОТНЫХ**

Этот доклад посвящен, в основном, вопросам влияния разработки нефтяных месторождений на рыб и диких животных арктических районов Аляски.

Обсуждается воздействие крупных строительных объектов, насосных станций, аэропортов, нефтепроводов, средств сообщения, мест хранения материалов, свалок и дорог на некогда девственную природу тундры. Особое внимание обращается на последствия следующих факторов:

- активизации наземного и воздушного транспорта, добычи гравия, проведения дорог и трансаляскинского нефтепровода в местах нереста рыбы, гнездования птиц и отёла копытных;
- загрязнения воды сточными водами, нефтью и илом;
- нерационального отношения людей к диким животным, обусловленного неправильным хранением отходов и кормлением хищников;

- нарушения путей миграции рыб и диких животных суши, вызванное строительством дорог, проведением трубопровода и движением транспорта;

- воздействия забора питьевой воды и воды, используемой в строительстве на популяции зимующих рыб;

- воздействия разлившейся нефти на трофические цепи, на отдельные виды диких животных и местные виды растений.

Уделяется внимание методам строительства, при которых популяциям животных наносится минимальный ущерб, с учетом места и времени строительства, контроля за эрозией почв, мероприятий восстановительного характера.

Основное внимание уделяется следующим видам диких животных, таким как: сокол сапсан, баран Далла, карибу, лось, голец, хариус, волк, лисица, песец, а также водоплавающие птицы, кулики и воробьиные. Обсуждаются вопросы охраны окружающей среды в районе трансаляскинского нефтепровода.

COMPUTER MODELING OF TERRAIN MODIFICATIONS IN THE ARCTIC AND SUBARCTIC

Samuel I. Outcalt and Jerry Brown*

INTRODUCTION

In the middle latitudes alteration of the ground surface by man during the process of urbanization frequently increases its mean annual temperature. This effect can be produced merely by alterations of the thermal radiational or aerodynamic characteristics of the surface, even without the further effects of heating and other industrial or domestic processes. Thus, the effect of an urban heat island would appear in a deserted power-off urban environment (Outcalt, 1972b).

In permafrost terrain, where the volumetric ice content of the soil is larger than the unfrozen soil porosity, the deepening of the annual thaw layer (active layer), followed by evaporation or drainage, results in collapse or differential settling of the soil surface or thermokarst development. The effects of poorly planned structures on the thermal regime can thus, by the feedback mechanism of soil warming and thermokarst formation, produce structural failures. Even surface modifications not involving structures, such as drainage, irrigation and clearing of timber, can produce these effects.

In the natural terrain of interior Alaska the depth of the active layer varies considerably with slope, exposure, substrate conditions and vegetation (Péwé, 1967). In river bottoms, a thaw variation from 35 cm under black spruce to 55 cm under willows has been reported (Viereck, 1970). An extensive review of the relationships between permafrost conditions and vegetation types was presented at the First International Conference on Permafrost (Benninghoff, 1963). Linell (1973) has described the long-term effects of surface modification at a Fairbanks test site where drainage/evaporation removed the excess soil water created by permafrost degradation. As illus-

trated in Figure 1, the depth of the active layer increased from 1.1 meters in an undisturbed spruce forest terrain to 4.5 meters where the forest had been cleared, to 6.7 meters where the surface was cleared and stripped to bare mineral soil. These effects were produced over a 26-year period at a carefully monitored test site. After 26 years the 10-meter temperature in the degrading permafrost at the stripped and cleared site had warmed to -0.2°C in comparison with -0.5°C at the same depth beneath undisturbed forest. In the same area, Berg and Aitken (1973) reported a significant lowering of ground temperature beneath a white-painted, asphalt pavement compared to normal asphalt pavement (Fig. 2). The asphalt albedo was increased from 15 to 49% by the white paint.

Recent literature reviews covering the surface effects produced by snow albedo modification and snow evaporation control by the application of monomolecular films have been compiled by Slaughter (1969, 1970). The possibility of using snow fences to augment the fresh water supply at Barrow village has been studied by Slaughter et al. (1975). The effects of air cushion vehicle passage, fire and flood, seismic lines and organic layer removal at numerous locations have been described (Brown et al., 1969; Rickard, 1972; Mackay, 1970; Viereck, 1973; Kriuchkov, 1968; Sterrett, 1976). In Canada and the Soviet Union systematic surface modification experiments have been carried out in recent years (Gold, 1967; Pavlov, 1973, 1975).

Planned surface modification may produce either an increase in the active layer depth (permafrost degradation) or a decrease in the active layer depth (permafrost aggradation). In some cases degradation is a useful modification for agricultural purposes, to facilitate overburden removal at strip mining sites and in the preparation of foundations. Aggradation tends to stabilize foundations and other structures

* Professor, Geography Department, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan; Research Soil Scientist, USACRREL, Hanover, New Hampshire, respectively.

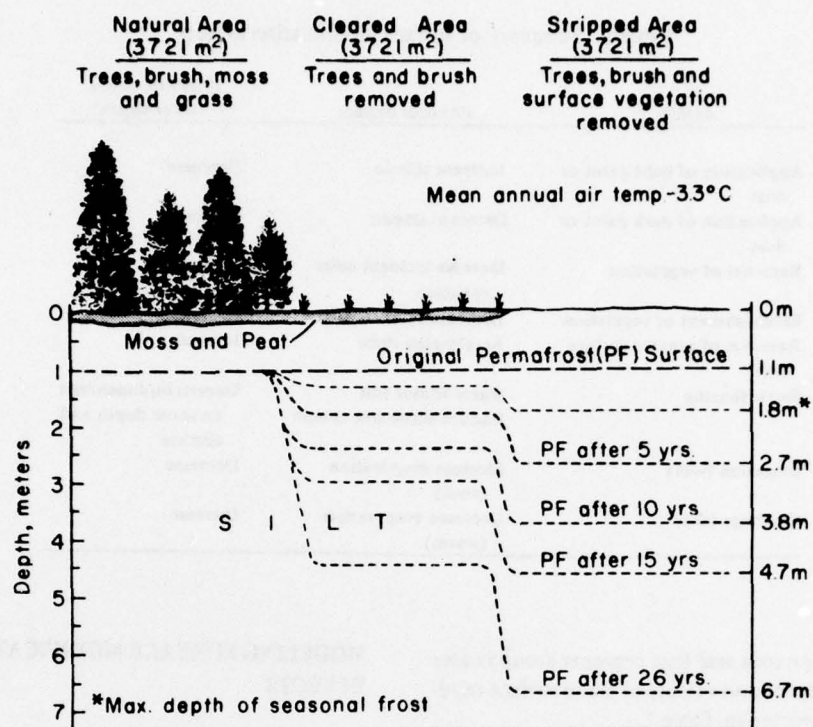


Figure 1. Change in permafrost table following clearing and stripping in the Fairbanks area (Linell, 1973).

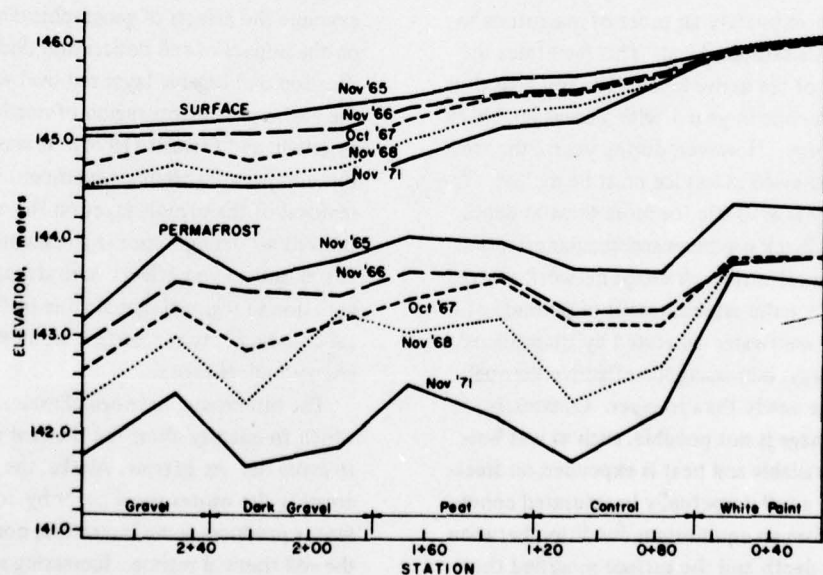


Figure 2. Difference in surface elevation and the depth to the permafrost table under different surface treatments (Berg and Aitken, 1973).

Table 1. Summary of surface modification effects.

<i>Action</i>	<i>Physical impact</i>	<i>Effect on active layer depth</i>
Application of light paint or dust	Increase albedo	Decrease
Application of dark paint or dust	Decrease albedo	Increase
Removal of vegetation	Increase incident solar radiation	Increase
Establishment of vegetation	Decrease solar radiation	Decrease
Removal of organic surface soil	Accelerated thaw	Increase
Snow fencing	Warm winter soil Reduce snow-free season	Uncertain/dependent on snow depth and climate
Irrigation (wet)	Increase evaporation (cool)	Decrease
Drainage (dry)	Decrease evaporation (warm)	Increase

and forms an impervious seal that prevents groundwater movement. The types and effects of some surface modifications are abstracted in Table 1.

Snow manipulation effects are extremely dependent upon both the local climate and the nature of the snow cover. The evolution of thermokarst terrain during active layer deepening is vastly accelerated at sites where the thawing, ice-rich soil is well drained since the effective heat diffusivity of the soils during freeze-thaw is increased by approximately an order of magnitude in comparison with a saturated soil. This facilitates the rapid deepening of the active layer. The soil heat thus thaws an ice-rich zone in year 1 with a considerable expenditure of energy. However, during year 2 the zone is more rapidly thawed as less ice must be melted. The remaining energy is available for more thaw at depth. This type of feedback produces spectacular effects at sites where the local surface drainage network evolved and deepened since the establishment of permafrost in the region. The meltwater generated by thermokarsting is drained away, increasing the effective thermal diffusivity of the newly thawed layer. Conversely, at sites where drainage is not possible, such as wet bottom-land, the available soil heat is expended on freezing and thawing a soil perpetually in saturated conditions and therefore an equilibrium condition between the active layer depth and the surface modified thermal regime is more quickly attained than at well-drained sites.

MODELING SURFACE MODIFICATION EFFECTS

In the rapidly developing arctic and subarctic regions of the Northern Hemisphere both the geomorphic and climatological environments exhibit considerable geographic variability. The climate of these northern regions also illustrates strong effects of both latitude and continentality. A preliminary analysis to examine the effects of geographic climatic variation on the impact of soil desiccation due to drainage modification and organic layer removal was attempted for the entire permafrost region of northern Canada by Goodwin and Outcalt (1974). It was discovered in this computer modeling experiment that the effects of removal of the organic layer on the active layer depth showed no strong response to climatic variation whereas soil desiccation effects were strongly affected by variation in regional climate due to the strong physical coupling between surface wetness and the surface energy budget regime.

The interaction between climate, terrain and man which frequently alters the thermal regime is difficult to estimate. At Barrow, Alaska, the simulation of increasing the winter snow cover by constructing snowfences produces some interesting nonlinear effects in the soil thermal regime. Increasing snow depth both shortens the period available for active layer formation and stores the heat of the previous summer in

the soils beneath the test site. Thus at the time of meltout, which is delayed in comparison with surrounding natural terrain, the near-surface layers are warmer than the surrounding natural terrain (Outcalt et al., 1975).

The effects of fire have frequently been considered to produce permafrost degradation near the northern tree-limit. However, in northeastern Siberia a decade after fire the permafrost has aggraded by 10-20 centimeters, producing what has been termed pyrogenic tundra in regions of former tree cover (Kriuchkov, 1968).

In the Mackenzie Delta, N.W.T., there is some evidence that several preceding decades of warmer temperature conditions are now producing regional permafrost degradation and resulting thermokarst effects and some expansion of thaw lake basins although the present annual air temperature over the region is decreasing (Mackay, 1975).

In recent years excellent active layer and general permafrost numerical and analytical models have been developed (Smith and Hwang, 1973; Gold and Lachenbruch, 1973; Goodrich, 1974; Nakano and Brown, 1972; Sharbatyan, 1974). These substrate models considered only conduction heat flow in the soil as forced by a time series of surface temperature. However, the application of equilibrium temperature algebra demonstrates that the surface temperature is part of the answer to the surface modification problem and not part of the question (Goddard, 1975; Goodwin and Outcalt, 1974; Outcalt, 1972a). Further, heat transfer in the soil is the product of water and water vapor movement as well as conduction (Philip, 1957; Philip and deVries, 1957). The case for wet arctic soils in which water vapor effects were neglected but the heat and water diffusion expressions are interactive has been recently modeled by Guymon and Luthin (1974) and Harlan (1973). These models do not treat complex ice segregation effects which have been discussed in the literature (Arakawa, 1966; Kinoshita, 1973; Palmer, 1967).

In addition, terrain thermal models should incorporate plant canopy effects even in arctic coastal tundra, especially if detail during a diurnal cycle is necessary for plant process modeling (Ng and Miller, 1975). Thermodynamic considerations should be included in attempts to model heat and mass transfer in the complex 3-phase system of a freezing or thawing soil in which ice, water and water vapor coexist

(Groenevelt and Kay, 1974). Thus, the ideal permafrost model would have the following interactive components.

1. Surface energy budget with
 - a. Snow accumulation and ablation
 - b. Plant canopy effects
2. Soil model with
 - a. Coupled water, water vapor and heat flow effects
 - b. Ice segregation with space geometry interactive

Recently interactive surface energy budget models of soil surfaces coupled to soil heat, water and water vapor flux models have been developed and tested (Sassimori, 1970; Rosema, 1974). These models are extremely sophisticated and utilize both the details of the soil desorption and unsaturated hydraulic conductivity curves as input data.

Unfortunately the comprehensive model for permafrost analysis has not been developed. Therefore, modeling must be carried out by selecting situations which do not require all the components of the ideal model outlined above. A model incorporating surface energy transfer, snow accumulation, ablation and soil thermal evolution with freeze-thaw was developed to analyze snowfence effects at Barrow, Alaska, and is completely described in a report which includes a source code listing (Outcalt et al., 1975). The model was developed for wet, poorly drained coastal tundra and thus is not applicable for deep, well-drained sites overlying ice-rich permafrost, or sites in which local drainage varies due to topographic effects. That model will be referred to as the Barrow model and was slightly modified to simulate wet bottomland sites in interior Alaska with poor local drainage.

MODIFICATION OF THE BARROW MODEL FOR USE IN THE INTERIOR ALASKA CASE

In the Barrow model surface roughness and albedo were treated as functions of evolving snow depth. The modified model used a specified roughness to simulate trees, always above natural snow cover, and permitted the soil surface albedo to be specified for each run whilst the snow albedo was specified as in the Barrow model. The Barrow model was further altered so that the emplacement of an asphalt pavement could be simulated. With some small refinements to increase mathematical efficiency the resulting model modification resulted in what will be called the Fairbanks model.

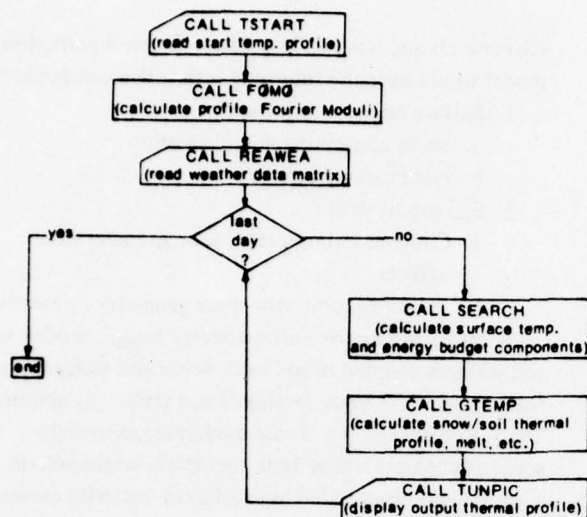


Figure 3. Model flow chart.

Table 2. Parameters for Fairbanks model.

Factor to change snowfall to simulate fencing, drifting or removal
Surface albedo of exposed soil or asphalt surface
Surface wetness to simulate the effects of drainage etc.
Pavement emplacement to simulate the construction of a road
Aerodynamic roughness to simulate the effects of air flow
Radiation penetration factor - fraction of incoming solar radiation incident on forest floor which forms a product with daily total solar radiation

This model is forced by a time series of spline, interpolated, mean monthly weather conditions for Fairbanks, Alaska, to simulate the environment along the Chena River floodplain and terraces where a flood control project is under construction by the Corps of Engineers. Surface modification effects on groundwater and permafrost conditions are a source of concern in this region of discontinuous permafrost. The model operation can be visualized as an input-output system forced on a daily basis by the smooth, splined weather variables (incoming solar radiation, cloud cover, air temperature-humidity, wind speed and snowfall). These are conditioned by submodels of the surface energy transfer regime, snow accumulation, ablation and substrate thermal evolution with freeze-thaw of soil water. The parameters for conditioning the submodels are listed in Table 2. The operation of the model is diagrammed in Figure 3.

The model output includes daily surface energy transfer component sums, the thermal structure of

Table 3. Fairbanks model decade run characteristics.

Dark Asphalt in Subgrade Meadow. In this and all other runs a cleared site is considered. The surface was simulated as dry with winter snow removal and a meter of asphalt and subgrade. The dark surface had a solar albedo of 17%.

Light Asphalt in Open Clearing. Same as dark asphalt with surface albedo increased to 49%.

Open Clearing (Wet) Meadow (Alass Type) Natural Condition. The simulation of an open clearing with undisturbed vegetation and soil and 100% radiation reaching surface. Albedo 17% with a fully wet surface (surface relative humidity 100% or 1.00). Maximum snow depth was 52 cm.

Open (Dry)...Mod 1. Same as previous case but the surface relative humidity was set to 0% to simulate drainage of soil evaporation control with thin polyethylene or similar materials.

Open (Snow Removal)...Mod 2. The same as the clearing wet case except that winter snow removal was simulated.

Open Clearing (Snow Fence)...Mod 3. The same as the wet clearing case except that maximum snow depth was increased to 4.24 meters simulating a snow augmentation depth sufficient to produce a permanent snowfield in simulation of the Barrow environment.

Bare soil.

Under Closed Canopy Mature Spruce Forest. Only 40% of the available solar radiation was considered to penetrate to the forest floor. The site was considered fully wet with a surface albedo of 17%. The maximum winter snow depth was 53 cm.

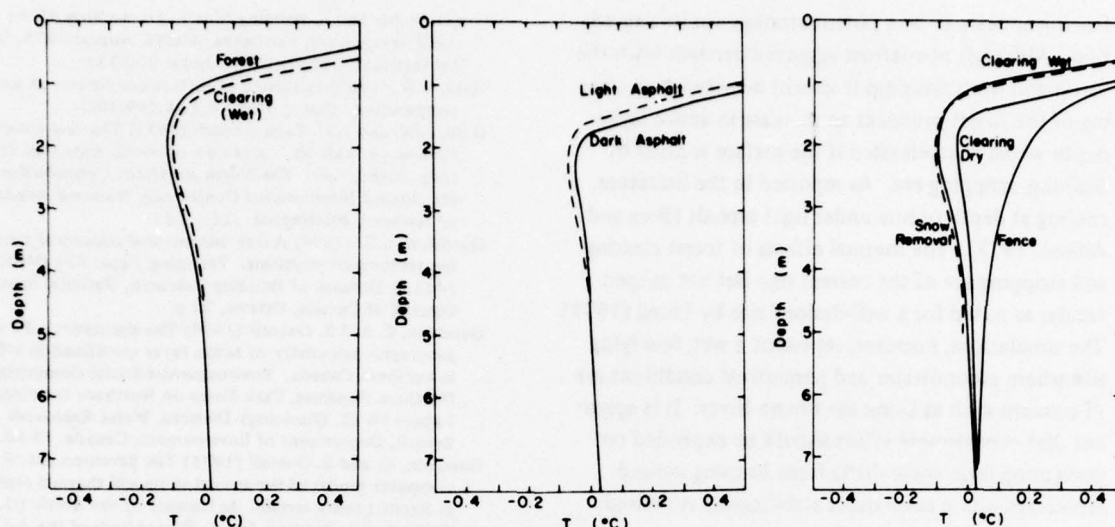


Figure 4. Maximum substrate temperatures during tenth-year simulation under various surfaces.

Table 4. Model response.

Run	Bottom of permafrost (m)	Max. active layer depth (m)	Dates of freeze and thaw	
			Thaw	Freeze
1 Under mature spruce forest	5.3	0.93	15 May	28 Sep
2 Dark asphalt	4.0	1.78	13 Apr	9 Oct
3 Light asphalt	4.5	1.61	17 Apr	6 Oct
4 Open clearing (wet)	4.5	1.11	12 May	3 Oct
5 Open clearing (dry)	3.3	1.53	12 May	4 Oct
6 Open clearing (snow removal)	5.5	1.12	20 Apr	3 Oct
7 Open clearing (snow fence)	No permafrost; developed; seasonal frost removed		4 Jun	3 Oct

Table 5. Extremes of annual temperatures at soil or asphalt surface.

Run	Temperature (°C)	
	Annual max	Annual min
1 Under mature spruce forest	11.0 (7.35)	-20.5 (1.60)
2 Dark asphalt	19.7 (7.02)	-25.0 (1.53)
3 Light asphalt	17.2 (7.12)	-25.0 (1.53)
4 Open clearing (wet)	13.8 (7.12)	-21.2 (1.53)
5 Open clearing (dry)	20.2 (6.99)	-21.0 (1.37)
6 Open clearing (snow removal)	13.8 (7.12)	-26.3 (1.50)
7 Open clearing (snow fence)	13.8 (7.22)	-6.9 (2.39)

() month in hundredths.

the snow and soil, and snow depth. In the runs discussed here the aerodynamic roughness length was fixed at 25 cm and the model was run for a period of ten years with an initial soil temperature of +0.5°C. This surface temperature was selected to see whether permafrost would become established at the simulated sites. The thermal properties of the pavement complex and silt soil are those reported by Berg (1975): the thermal radiation from the sky hemisphere was estimated as in the Barrow model and thermal radiation from the forest canopy followed the scheme of Ng and Miller (1975).

The characteristics of the Fairbanks Decade Run Sites are listed in Table 3. These decade runs produced the results which are abstracted in Table 4. The details of the surface and substrate thermal regime during the tenth year are abstracted in Table 5.

INTERPRETATION OF SIMULATIONS

Taking a rather conservative view of the simulations it is obvious that large perturbations of both the near-surface thermal regime and the permafrost condition can be produced by several effects which are standard in the preparation of terrain for town, roadway and airport construction. In Figure 4 the profiles of maximum substrate temperatures are compared. It would appear that the removal of natural snow cover is not an effective way to develop permafrost although snow

fencing appears to be a potent strategy for its degradation. Although permafrost aggraded beneath both the forest and open clearings it should be noted that clearing of the forest produces an increase in active layer depth which is accelerated if the surface is dried by draining, stripping etc. As reported in the literature, cooling at depth occurs under light asphalt (Berg and Aitken, 1973). The thermal effects of forest clearing and stripping are of the correct sign but not as spectacular as noted for a well-drained site by Linell (1973). The simulations, however, represent a wet, low-lying site where groundwater and permafrost conditions are of concern such as along the Chena River. It is apparent that considerable effort should be expended on preventing large snow drifts from forming around structures where permafrost stabilization is desired.

CONCLUSION

A considerable effort should be expended on the production of the type of sophisticated soil heat and water model discussed. This model in conjunction with a surface energy transfer model could be refined by field testing to simulate extremely complex geological, geographical, and environmental conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

These studies are supported by USA CRREL Civil Works Project, *Environmental Effects and Criteria for Engineering Works in Cold Regions*.

REFERENCES

- Arakawa, K. (1966) Theoretical studies of ice segregation in soils. *J. Glaciol.*, 6(44):255-260.
- Benninghoff, W.S. (1963) Relationships between vegetation and permafrost. *Proceedings Permafrost International Conference*, NAS-NRC, Pub. 1287, 9-13.
- Berg, R. (1975) Personal communication.
- Berg, R. and G.W. Aitken (1973) Some passive methods of controlling geocryological conditions in roadway construction. *Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 581-586.
- Brown, J., W. Rickard and D. Vietor (1969) The effect of disturbance on permafrost terrain. USA CRREL Special Report 138.
- Goddard, W.B. (1975) Description of a surface temperature equilibrium energy balance model with application to Arctic pack ice in early spring. In *Climate of the Arctic* (G. Weller and S. Bowling, Eds.). Proceedings of the AAAS-AMS Symposium, Fairbanks, Alaska, August 1973, Geophysical Institute, University of Alaska, 230-237.
- Gold, L.W. (1967) Influence of surface conditions on ground temperature. *Can. J. Earth Sci.*, 4:199-208.
- Gold, L.W. and A.H. Lachenbruch (1973) Thermal conditions in permafrost - A review of North American literature. *Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 3-23.
- Goodrich, L.E. (1974) A one-dimensional numerical model for geothermal problems. Technical Paper 421 (NRCC 14123), Division of Building Research, National Research Council of Canada, Ottawa, 22 p.
- Goodwin, C. and S. Outcalt (1974) The simulation of the geographic sensitivity of active layer modification effects in northern Canada. Environmental-Social Committee, Northern Pipelines, Task Force on Northern Development, Report 74-12, Glaciology Division, Water Resources Branch, Department of Environment, Canada, 17-50.
- Goodwin, C. and S. Outcalt (1975) The development of a computer model of the annual snow-soil thermal regime in Arctic tundra terrain. In *Climate of the Arctic* (G. Weller and S. Bowling, Eds.). Proceedings of the AAAS-AMS Symposium, Fairbanks, Alaska, August 1973, Geophysical Institute, University of Alaska, 227-229.
- Groenevelt, P.H. and B.D. Kay (1974) On the interaction of water and heat transport in frozen and unfrozen soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38(3):395-404.
- Guymon, G. and J.N. Luthin (1974) A coupled heat and moisture model for Arctic soils. *Water Res. Res.*, 10(5): 995-1003.
- Harlan, R.L. (1973) Analysis of coupled heat-fluid transport in partially frozen soil. *Water Res. Res.*, 9(5):1314-1323.
- Kinosita, S. (1973) Water migration in soil during frost heaving. *Proceedings of the 2nd International Conference on Permafrost*. Yakutsk Publishing House, Yakutsk, USSR, vol. 1, 68-72.
- Kriuchkov, V.V. (1968) Soils of the far north should be conserved. *Priroda*, 12:72-74. (Draft translation in USA CRREL Special Report 138.)
- Linell, K.A. (1973) Long term effects of vegetation cover on permafrost stability in an area of discontinuous permafrost. *Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 688-693.
- Mackay, J.R. (1970) Disturbances to the tundra and forest tundra in the environment of the western Arctic. *Can. Geotech. J.*, 7(4):420-432.
- Mackay, J.R. (1975) The stability of permafrost and recent climatic change in the Mackenzie Valley, N.W.T. Geol. Survey of Canada, Paper 75-1, Part B, 173-176.
- Nakano, Y. and J. Brown (1972) Mathematical modeling and validation of thermal regimes in tundra soil, Barrow, Alaska. *Arct. Alp. Res.*, 4:19-38.
- Ng, E. and P.C. Miller (1975) A model of the effect of tundra vegetation on soil temperatures. In *Climate of the Arctic* (G. Weller and S. Bowling, Eds.). Proceedings of the AAAS-AMS Symposium, Fairbanks, Alaska, August 1973, Geophysical Institute, University of Alaska, 222-226.
- Outcalt, S. (1972a) The development and application of a simple digital surface climate simulation. *J. App. Met.*, 11(4):629-636.
- Outcalt, S. (1972b) A reconnaissance experiment in mapping and modeling the effect of land-use on the urban thermal regime. *J. App. Met.*, 11(8):1369-1373.
- Outcalt, S., C. Goodwin, G. Weller and J. Brown (1975) A digital computer simulation of the annual snow/soil thermal regime at Barrow, Alaska. USA CRREL Research Report 331. (Also *Water Res. Res.*, 11:709-715, 1975.)

- Palmer, A.C. (1967) Ice lensing, thermal diffusion and water migration in freezing soils. *J. Glaciol.*, 6(47):681-694.
- Pavlov, A.V. (1973) Heat exchange in the active soil layer. *Proceedings of the 2nd International Conference on Permafrost*. Yakutsk Publishing House, Yakutsk, USSR, vol. 1, 45-50. Draft translation: Translation Bureau, Dept. of Sec. of State, Canada.
- Pavlov, A.V. (1975) Heat transfer of the soil and atmosphere at northern and temperate facilities. USA CRREL Draft Translation 511, January 1976, 298 p.
- Péwé, T.L. (1967) *Permafrost and its effect on life in the north*. Corvallis: Oregon State University Press, 27-65.
- Philip, J.R. (1957) Evaporation and moisture and heat fields in the soil. *J. Meteorol.*, 14:354-366.
- Philip, J.R. and D.A. deVries (1957) Moisture movement in porous materials under temperature gradients. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38(2):222-232.
- Rickard, W. (1972) Preliminary ecological evaluation of the effects of air cushion vehicle tests on the arctic tundra of northern Alaska. USA CRREL Special Report 182, 26 p.
- Rosema, A. (1974) Simulation of the thermal behavior of bare soils for remote sensing purposes. NIWARS Pub. 16, 13 p. Netherlands Interdepartmental Working Community for Application of Remote Sensing Techniques, Kannalweg 3, Delft.
- Sassimori, T. (1970) A numerical study of atmospheric and soil boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, 27(8):1122-1137.
- Sharbatyan, A.A. (1974) Extreme estimations of geothermy and geocryology. USA CRREL Draft Translation 465, 140 p. (1975).
- Slaughter, C.W. (1969) Snow albedo modification, A review of the literature. USA CRREL Technical Report 217, 24 p.
- Slaughter, C.W. (1970) Evaporation from snow and evaporation retardation by monomolecular films, A review of literature. USA CRREL Special Report 130, 30 p.
- Slaughter, C.W., M. Mellor, P.V. Sellmann, J. Brown and L. Brown (1975) Accumulating snow to augment the fresh water supply at Barrow, Alaska. USA CRREL Special Report 217, 20 p.
- Smith, M.W. and C.T. Hwang (1973) Thermal disturbance due to channel shifting, Mackenzie Delta, N.W.T., Canada. *Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference, National Academy of Sciences, Washington, D.C.*, 52-60.
- Sterrett, K.F. (1976) The arctic environment and the arctic surface effect vehicle. CRREL Report 76-1, 33 p.
- Viereck, L.A. (1970) Soil temperatures in river bottom stands in interior Alaska. *Ecology of the subarctic regions*, Proc. of the Helsinki Symposium, Ecology and Conservation No. 1, UNESCO, Paris, 223-233.
- Viereck, L.A. (1973) Ecological effects of river flooding and forest fires on permafrost in the taiga of Alaska. *Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference, National Academy of Sciences, Washington, D.C.*, 60-67.

С. И. Ауткал
(США, Энн Арбор, Мичиган),

Дж. Браун
(США, Ганновер, Нью Хэмпшир)

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОВ И ПРОБЛЕМЫ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Естественные или искусственные изменения теплового режима поверхностного слоя многолетней мерзлоты могут вызывать ее эрозию и мало заметные изменения морфологии. Различные процессы, которые обуславливают понижение температуры земной поверхности, приводят к образованию многолетней мерзлоты, а факторы, которые способствуют повышению температуры земной поверхности, вызывают протавивание многолетней мерзлоты. Моделирование этих процессов с помощью компьютера и последующие анализы потоков тепла используются для определения кратковременных и долгопериодных изменений многолетней мерзлоты.

В течение настоящего десятилетия теория передачи тепловой энергии на земную поверхность и тепловые процессы, происходящие внутри нее были изучены до такой степени, что стало возможным моделирование с помощью компьютера эволюции тепла на границе поверхности — в подпочве. Тепловой режим земной поверхности зависит от местного режима погоды и свойств поверхностного слоя и подпочвы. Необходимыми метеорологическими сведениями для этих моделей являются данные о солнечной радиации, облачности, температуры воздуха, влажности, скорости ветра и атмосферном давлении. Необходимая географическая информация включает альбедо земли, аэродинамический коэффициент шероховатости, коэффициент увлажнения поверхности и тепловые характеристики подпочвы. В более новых моделях учитываются также изменения количества воды и тепла в почве и процессы замерзания и таяния.

В течение нескольких лет применялись и другие модели, в которых использовались данные о снегонакоплении и таянии. В них рассматривались также среднесуточные метеоданные (С. И. Ауткал и др., 1975). В этих моделях применяется закон сохранения поверхностной энергии, в котором суммарная остаточная радиация (Rn): поток прямой солнечной радиации (S), поток активного тепла H и поток скрытого тепла E по направлению к поверхности должны равняться нулю:

$$Rn + S + H + LE = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) можно преобразовать в выражение (2), или добавить данные о географической G и метеорологической W информации, а также о температуре земной поверхности T :

$$(W, G, T) + S(G, T) + H(W, G, T) + LE(W, G, T) = 0. \quad (2)$$

Если известна вся метеорологическая и географическая информация, то уравнение 2 является нелинейным трансцендентным уравнением температуры земной поверхности, и соответствующие численные алгоритмы используются для нахождения указанной температуры. Подпочвенный тепловой режим можно вычислить с помощью численных решений параболических парциальных дифференциальных уравнений, описывающих эволюцию полей температуры почвы и содержания воды. Таким образом, эволюция температуры почвы T в каком-то месте может быть выражена как функция времени t , глубины z и коэффициента термической проводимости:

$$\partial T / \partial t = a \partial^2 T / \partial z^2. \quad (3)$$

При процессах замерзания—таяния следует отметить, что коэффициент термической проводимости сам является функцией температуры, таким образом, уравнение 3 становится нелинейным. Этого можно избежать путем введения соответствующего коэффициента термической проводимости при каждом решении уравнения, т. е. превратить уравнение 3 в линейное.

Одномерные модели этого типа используются:

- 1) для определения величины суточного образования льда на земной поверхности;
- 2) для изучения влияния годовых тепловых режимов снега на почвы в Барроу (Аляска), что необходимо для попытки улучшить городское водоснабжение за счет снегонакопления;
- 3) для исследования изменения количества снежных наносов;
- 4) для изучения последствий уничтожения леса, дренажа и обработки поверхности в Фэрбенксе в течение нескольких десятилетий.

Моделирование увеличения высоты снега до 2,7 м для Барроу доказало, что снежный покров будет сохраняться в указанном районе до конца июля. Эти расчетные данные хорошо согласовались с результатами наблюдений. Высота снега выше 4,2 м приводит к постоянному снегонакоплению. Моделирование начала раннего таяния снега в густо населенных арктических районах показало, что начало раннего таяния снега зависит в большей степени от уменьшения величины альбедо, чем от увеличения аэродинамического коэффициента шероховатости. Результаты этих и других моделирований и современные тенденции в этом направлении будут подробно обсуждаться и затем будет дан обзор технической литературы по структурам указанных моделей.

RESOURCE DEVELOPMENT AND RELATED ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ARCTIC ALASKA Highway Planning and Problems

Walter B. Parker*

Highway construction in northern and central Alaska must use several different techniques to solve the problems encountered across the major physiographic regions. Experience with recent oil and gas development thus far has shown that permanent all-weather roads are a necessary adjunct of development wells, installing gathering lines, and providing the necessary pipelines to the nearest market or deep water port. Such roads are probably going to be necessary until the major logistical requirements of the mineral, oil, and gas provinces are met. Thus, roads will be necessary in relatively unpopulated areas and may be of limited further use once the mineral resources of a particular province are exhausted. In order to keep the development costs of Arctic resources within reasonable bounds, it is necessary that these developmental roads be constructed at minimum expense while maintaining a high degree of protection to the environments they encounter.

For the purposes of the road builder, northern and central Alaska can be divided into four major regions, namely, wet tundra which encompasses the Arctic coastal plain and other lowlands throughout the region; dry tundra which covers the foothills of the Brooks Range and other alpine areas throughout the state; wet taiga which is characterized by a predominance of black spruce and is found in poorly drained areas, north slopes, and low-lying areas within interior Alaska and is generally underlain by permafrost; and, dry taiga which is forested by mixed deciduous and coniferous species and generally occupies the well drained soils and south slopes of interior Alaska.

Different permafrost regimes are encountered in each of the above regions. Generally the farther south one proceeds, the warmer are the permafrost temperatures and the permafrost becomes discontinuous and sporadic in nature. Unstable frozen soil conditions can be encountered in all of the above regions, and determining their specific locations is a difficult task even for engineers and geologists with years of experi-

ence in building roads on permafrost. Realizing this, adequate soil logs have been maintained on most Alaskan roads over a long period of time. Interpretation of this information and that gained from construction of the Trans-Alaska oil pipeline and its accompanying road system will hopefully expand our ability to locate permafrost without extensive and costly boring programs. There is now being developed, new technology to locate permafrost using air photos and seismic techniques. Nevertheless, it is the areas of warm and discontinuous permafrost that present the greatest problems and that are least susceptible to engineering solutions which are adequate for the areas of cold continuous permafrost.

Road building in the wet tundra requires large amounts of gravel which can be reduced if special insulation techniques are used. In the Arctic lowlands, the most desirable and environmentally acceptable major sources of gravel are in the floodplains of major rivers, and to less extent, from beaches and barrier islands along the coast. Any road built away from these sources is extremely expensive as gravel hauls of over ten miles are often necessary.

Recently there has been considerable experience utilizing expanded polystyrene and other insulations to replace gravel. These roads have not been in place long enough to assess their ability to withstand continued, heavy traffic. However, first indications are that if the insulated area is carefully bedded over gravel that is screened to insure that rocks large enough to break the insulation boards are not present and if gravel of the same quality is used for the covering layer, this solution offers much promise.

Whether using gravel as an insulator or a combination of gravel and insulation, the old adage that the tundra mat must not be broken in tundra areas underlain by permafrost still holds true. Experiences thus far in burying utilities adjacent to roads built on top of the tundra have not been proven successful. Extreme care must be exercised to insure that the thermal regime of the road prism and its underlying

* State Co-chairman, Joint Federal State Land Use Planning Commission For Alaska, Anchorage, Alaska.

permafrost is not threatened by an adverse thermal condition induced by adjacent construction activities. Thus, the concept of utilizing common corridors for roads, pipelines, and other utilities must be approached with care and the thermal regime of each structure respected. Attempting to minimize environmental damage by restricting several projects to a common corridor can result in a failure of all projects concerned. If pipelines and other structures in permafrost areas are elevated instead of being buried, it is much easier to confine them to common corridors along with roads.

Experience thus far with roads built in the Arctic lowlands indicates that there are no special hydrological problems if special consideration is given to sheet drainage and potential icing (nalyed) formation. Ponding can quickly affect the thermal regime of the road adversely and extra culverts or french drains must be utilized in many areas. The diffused drainage patterns of the lowlands can make it difficult to predict where ponding will occur unless special care is exercised. Also, nalyeds are very capricious in nature and are not predictable. Areas where they occur should be avoided but in areas where little historic observance is present this may not be possible.

Areas of dry tundra along the northern foothills of the Brooks Range have proven to be deficient in gravel sources. River gravel deposits are less abundant and the upland material sites have proven to contain generally poor material. It is quite difficult to maintain erosion control in these materials. Examples of this occur along the Alaska oil pipeline in the Toolik area and on top of the Sagwon bluffs. The thaw zone above permafrost is less stable than in the lowland areas and there is frequently no continuous tundra mat to overlay but only wind-deposited silts in the valley bottoms and on lower slopes.

Drainage patterns are, of course, better defined in the foothills and proper location of drainage structures is more effectively established than in the Arctic lowlands. However, little baseline data on stream hydrology exists in these remote areas. Road protection is necessary at stream crossings. Armoring the roadbed, installation of groins or dikes is extremely difficult due to the lack of competent rock for riprap in Arctic Alaska. Design of stream protection structures has proven to be one of the major problems of construction in remote areas. Snowfall is, in the mountains, of course, much greater than in the lowlands and spring floods and washouts commonly occur.

Solifluction is common on the slopes of the Brooks Range and other mountainous areas of interior Alaska. In many cases this makes it necessary to establish roads on stream terraces and valley bottoms rather than on

the hillsides. One of the most difficult engineering problems occurs when it is necessary to traverse a solifluction slope and no alternate route is possible.

In making transitions from hillsides and stream terraces to river bottoms, it is often necessary to make cuts in ice-rich soils. These present significant engineering and environmental problems, especially in those areas where the tundra-organic mat is thin or nonexistent. Where there is a thick tundra cover or forest mat, it has been the practice for many years to make nearly vertical cuts and to use the existing tundra mat to insulate the permafrost. Rapid headward thermal erosion occurs at the cut face and the organic mat falls over the cut face thus protecting the permafrost from further rapid thaw. When this technique cannot be used, insulation must be provided either by rapid utilization of large amounts of gravel or other insulating material. Another problem in foothill areas, both in tundra and taiga, occurs where sheet drainage on relatively steep slopes is converted to channel drainage, or, if the channel cannot be controlled, the net result is rapid hydraulic erosion into the permafrost layer. When the channel encounters a sudden change in topography, rapid headward erosion can occur. This most commonly occurs when the road is built along a riverbank with a relatively steep slope on the other side. Unless one is prepared to handle the drainage and erosion problems, these situations should be avoided at all costs to protect other resources such as fish.

The control of nalyeds where roads are on sidehill slopes or in the valley bottoms is a continuing problem. This problem changes from year to year since nalyeds can be a major problem in one year and be scarcely present the next. Culverts fill with ice, thus requiring extensive spring maintenance to insure that the road will not wash out. When icings cover the road, the ice is simply ripped and bladed from the road when their intrusion cannot be prevented by special techniques or by raising the level of the roadbed. Satellite photography is presently being employed as a means of locating areas of large nalyed activity. Such areas will be avoided whenever possible, but, in areas where little previous hydrological data is available, it is often difficult or impossible to tell when or where a nalyed will occur.

It is the practice now in wet and dry taiga to hold clearing widths to an absolute minimum with normally only one and one-half feet (0.5 meters) being allowed for clearing beyond the toe of the slope of the road. This provides a much more scenic road, eliminates a good many erosion problems, and provides more protection from snow drifting. Loss of sight distance for traffic can be eliminated by road design which eliminates sharp curves and excessive grade changes wherever possible.

The large number of material and spoil disposal sites raise environmental problems in many regions. There are very few cases where a balanced roadbed can be constructed of *in situ* materials. Replacement of gravel with insulations has an environmental benefit and economic impact. It is preferable to apply spoil along the road right-of-way unless it will affect the integrity of the road. Scattered spoil disposal sites normally require access to them, thus increasing the use of gravel. These locations should be avoided whenever possible.

Thus far, roads built with good materials in the Arctic have not shown intensive signs of degradation from weathering beyond that encountered in most arid regions. However, roads constructed with a high percentage of fines suffer from water and wind erosion and frost action. This has been observed among some of the original roads at Prudhoe Bay. If a road is to be utilized over a long period, the costs of surface stabilization, either by paving or other agents, should be considered in order to minimize the loss of the specified amount of fines through either wind or mechanical erosion, or freeze-thaw degradation. The use of paved surfaces in Arctic regions is undergoing reevaluation as a result of the above experiences. If heavy equipment is allowed on the roads it is necessary to use thicker asphalt layers than in the past when a 1½-in. (3.5-cm)-interim layer was utilized. These surfaces were expected to last ten years but they will not stand up to continued use by heavy equipment. Present axle load limits in Alaska are 84,000 lb. These are lowered during the spring when the roadbed is soft. However, it has been found that continuous heavy traffic, even at these limits, has a deteriorating effect upon the road surface. Thicker asphalt layers may be a partial answer but the expense of replacing them is resulting in a continual search for new alternatives in surface stabilization.

Reevaluation of all paved primary highways is underway due to the great increase in truck traffic resulting from pipeline and other resource extraction activities. Since higher quality base and subgrade materials are difficult to find *in situ* methods must be developed to make high quality roads from substandard materials unless the enormous hauling costs for bringing in more suitable materials from distant sites can be tolerated. It is obvious from the experience of the Prudhoe oil field and its associated pipeline systems that an all-weather road from an ice-free port is necessary for development over the long term. Air support will suffice during the exploratory phase but tonnages required for development are difficult to move properly by air, especially for construction of pipeline facilities. Winter roads have not proven to be a satisfactory

expediency due to their limited season. The lack of good port sites and heavy sea ice along the shallow waters of the Arctic Alaska coast hinders development of marine transportation and is the major inhibiting factor in utilizing deep-draft vessels.

Due to the above factors, it appears that if Arctic oil, gas, and other mineral development is to proceed, road investments should be made based upon the term of utilization. If it appears that a development will be only a five-year term, then the road should be constructed to standards such that **major reconstruction would be required after five years** if future utilization is then required. By constructing roads to the term of development, the use of gravels and other expensive materials will be minimized and it will not be necessary to leave expensive investments in roads and other transportation infrastructure with an unutilized life after the resource development period is ended.

In summation, cuts in ice-rich soils, especially on sidehills and the lips of stream terraces are to be avoided whenever possible. Road alignment should be modified to avoid these cuts unless the long-term costs of very expensive rehabilitation and repair will be met by the road builder. Areas of nalyed occurrence and solifluction should be avoided which often means the utilization of the margins of the river floodplains for road construction. This has the advantage that normally the best gravel sites are located in the floodplains and it is also this type of site which is most easily rehabilitated. Where floodplain margins and stream terraces cannot be utilized, it is preferable to utilize the top of ridges in order to minimize cuts in ice-rich soils.

В. Б. Паркер
(США, Джуно, Аляска)

**РАЗРАБОТКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.— ВОЗДЕЙСТВИЕ
ШОССЕЙНЫХ ДОРОГ**

Технология прокладки дорог в северной и центральной Аляске различна в разных районах: во влажной тундре Арктической прибрежной равнины или низменности; в сухой тундре подножья Хребта Брукса и альпийской области во всем штате; во влажной тайге, где доминирующим видом является черная ель; в сухой тайге, где преобладают смешанные и хвойные виды деревьев.

В каждом из этих районов свой режим вечной мерзлоты. По мере продвижения на юг температура вечной мерзлоты повышается и становится более прерывистой (прерывистая зона вечной мерзлоты).

Строительство в условиях влажной тундры требует большого количества гравия, если не используются изоляционные материалы. В арктических долинах главный источник гравия — реки и побережье. Поэтому любая дорога, построенная в стороне от этих источников, обходится очень дорого. Опыт строительства дорог в арктических низинах свидетельствует об отсутствии гидрологических проблем, если должное внимание уделяется дренажу. Искусственное запруживание следует избегать, так как оно неблагоприятно сказывается на термической устойчивости вечной мерзлоты.

Очень мало гравия в сухой тундре у северных подножий. Однако дренажные трубы легче установить у подножий, чем в низинах. Солифлюкция на многих склонах делает необходимой прокладку дорог в долинах, а не на склонах холмов. Необходимо делать срезы в почвах, богатых льдом, что порождает серьезные проблемы, особенно там, где органический слой в тундре тонкий или отсутствует. Так, где этот слой толстый и в тех местах, где растет лес, можно путем проведения вертикальных срезов использовать этот слой для изоляции вечной мерзлоты. В местах среза происходит эрозия, органический слой падает и предохраняет вечную мерзлоту от дальнейшего таяния.

Контроль за обледенением там, где дороги проходят на боковых склонах холмов или на дне долин, представляет серьезную проблему. Дренажные трубы наполняются льдом, и это требует больших затрат труда весной, для предохранения дорог от размывания. На дорогах, где нельзя предотвратить возникновение наледей, производят срезание их бульдозером.

Во влажной и сухой тайге ширина расчищенных участков должна быть минимальной. Только 0,5 м должны быть расчищены. Некоторые участки, где вечная мерзлота не тает, можно использовать как источник строительных материалов, но обычно используется растаявший гравий.

Удаление почвы, так называемого отвала — это проблема на всех участках. Желательно оставлять отвалы на полосе отчуждения, в противном случае они неблагоприятно отразятся на состоянии дорог. С точки зрения охраны окружающей среды главной проблемой является значительное количество участков, которое требуется для хранения строительных материалов и сброса отвалов. Проводятся эксперименты по замене гравия другими изоляционными материалами типа пеностирола.

До сих пор дороги, построенные в Арктике из хороших материалов, не деградировали в связи с изменениями погоды. Дороги в районе залива Прудхоу размывались. В настоящее время изучаются возможности использования стабилизирующих средств. Использование мощных дорог в Арктике пересматривается. Если на дорогах будет транспортироваться тяжелое оборудование, то необходимо использовать более плотные слои асфальта (ранее толщина была 3,5 см). Предполагалось, что срок их использования составит 10 лет, но наблюдения последних лет показали, что они не выдерживают длительного использования при эксплуатации тяжелого транспорта. Если дорога не является мощной, то ее поверхность следует обновлять довольно часто. Изучаются новые стабилизирующие средства для решения этой проблемы.

Проводится оценка всех дорог на Аляске, что связано с активизацией движения транспорта, вызванного проведением нефтепровода. Строительные материалы высокого качества на месте найти трудно, и поэтому должны быть разработаны методы строительства дорог из нестандартных материалов.

Опыт разработки нефтяного месторождения в заливе Прудхоу и связанное с этим строительство нефтепровода показали, что необходимо построить на длительный срок хорошую шоссейную дорогу, пригодную для движения в любую погоду из незамерзающего порта. Услугами авиации можно пользоваться лишь в период исследования, но перевозить большие грузы в период проведения работ представляется маловероятным, особенно при строительстве нефтепровода. Зимние дороги оказались непригодными ввиду ограниченного срока использования.

C. A. Champion*, R. W. Huck†
(U.S.A. Anchorage, Alaska)

RESOURCE DEVELOPMENT AND RELATED ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ARCTIC ALASKA. IMPACTS OF LARGE SCALE PIPELINE CONSTRUCTION

All projects of large scale in the Arctic and Subarctic must be assessed in terms of their impact on the environment prior to initiation of work and in all subsequent phases. Because the impact usually spreads beyond the project scope itself, project planners and managers must consider the economic trade-offs inherent in the large scale works of man and the effects of projects on other natural resources (such as esthetics, timber, fish and wildlife). Further, management must also examine the influence on related industrial markets, the economic development of affected communities and impact on the labor market itself. The latter could easily be depleted to facilitate construction.

With respect to pipeline project design and construction, perhaps the most critical period for gathering data and establishing criteria occurs during geotechnical investigations. At this time the data input has a two-fold use. The first is the design of foundation systems and the second is the delineation of terrain units to minimize environmental degradation during the construction and operational phases of the project and from which natural resources can be extracted for utilization in construction. For example, selection of sites for gravel and concrete aggregate and spoil disposal are required to minimize environmental impact.

Baseline data are often nonexistent or limited in scope. Major data requirements are as follows:

Rivers and Floodplains

1. Maximum flood stage.
2. Scour depths associated with design flood.
3. Assignment of flood reoccurrence intervals.
4. River channel and floodplain geometry.
5. Bank characteristics, e. g. erosion and scour potential.
6. Denning relief floodplains.

River Associated (annual) and Ground Water (aufeis) Icings

1. Location, thickness and extent.
2. Associated scour.
3. Assessment of potential impact.
- Historical Weather Data (site specific).
1. Earliest, latest and most probable date of freeze-up.
2. Earliest, latest and most probable date of break-up and thaw.

3. Mean annual air and surface temperatures.
- Soil Conditions.

1. Vegetative cover.
2. Depth of thaw and soil temperatures.
3. Soil type classification.
4. Thaw stability.
5. Soil resistivity (frozen and thawed).

6. Physical and chemical properties.

Geographic Considerations.

1. Route selection.
2. Right-of-way width and clearing.
3. Site selection for disposal sites, camps, and staging areas.

Environmental.

1. Wildlife habitats and migration routes.
2. Anadromous fish streams and fish habitats.
3. Critical habitat of endangered wildlife species.
4. Esthetics consideration (amelioration of negative impact).
5. Timber resources.

6. Recreational areas.

Material Evaluation.

1. River material sites (gravel and sand).
2. Upland material sites (gravel and sand).
3. Rip-rap quarry locations.
4. Commercial timber.
5. Water intake and discharge for pipeline hydrotest.

To determine what is an acceptable environmental impact, there must be a continuous assessment of its cost both in terms of project costs and scheduling as well as its ancillary effects on society. The availability of manufactured materials, such as steel, is an integral part of environmental considerations. That is, some areas may be more readily set aside as staging zones under given seasonal conditions. Those which would require overland transport of heavy equipment during the summer months would logically be put aside due to destruction of tundra cover which in turn would require an additional expense to restore, if indeed, restoration is possible.

River crossing techniques and the installation of training structures to protect a pipeline from scour must be timed so as not to cause a detrimental effect on a known fishery resource. Local drainages must be dealt with to prevent siltation of rivers and in some cases the pipeline integrity itself. These techniques

involve the determination of aufeis occurrence, and ice forces on pipeline support structures whether they be bridges, piles or gravel berms. River training structures must be carefully designed not only to protect the pipeline from natural scour forces but also to protect exposed river banks from induced erosion and degradation.

Enforcement of quality control guidelines and specifications, lease agreements and statutory and regulatory laws are the tools available to insure pipeline integrity during and after construction and prevention and restoration of environmental damage. Project management by the owners must interface efficiently with permitting agencies and those responsible for protection of the environment.

Ч. А. Чэмпион, Р. Хак
(США, Анкоридж, Аляска)

РАЗРАБОТКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ АЛЯСКИ.— ПОСЛЕДСТВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КРУПНОГО НЕФТЕПРОВОДА

До начала проведения всех работ крупного масштаба в Арктике и Субарктике и на всех последующих этапах следует оценивать их воздействие на окружающую среду. При планировании этих работ и руководстве ими необходимо принимать во внимание экономические последствия, связанные с их осуществлением и воздействием на другие природные ресурсы (лесные, рыбные) и диких животных. Руководству следует также обратить внимание на то, как повлияет строительство на состояние и развитие других отраслей промышленности, на состояние трудовых резервов (они быстро могут быть истощены).

При планировании строительства трубопровода геотехнические исследования являются наиболее ответственным периодом для получения исходных данных, которые можно использовать двояко: во-первых при разработке основных систем и, во-вторых, при рациональном выделении участков на местности для уменьшения деградации окружающей среды в период строительства и работы объекта. На этих участках может вестись разработка природных ресурсов, необходимых для строительства. Например, для уменьшения ущерба, наносимого окружающей среде, следует заранее наметить участки для получения гравия, бетона и сброса отходов.

Исходные данные часто отсутствуют или их бывает недостаточно.

Необходимы следующие сведения:

Реки и речные долины.

- Максимальная продолжительность половодья.
- Глубина эрозии и ее зависимость от характера половодья.

— Распределение повторяемости половодья.

— Описание русла и продольный профиль реки.

— Описание берегов, потенциал эрозийной деятельности.

— Определение местонахождения древних речных долин.

Речные льды и наледи.

— Местоположение, толщина, протяженность и связанная с ними эрозия.

— Оценка возможного воздействия на строительство.

Метеоданные (для отдельных участков местности).

— Самые ранние, поздние и вероятные даты замерзания, вскрытия льда и его таяния.

— Среднегодовые температуры воздуха и поверхности.

Почвы.

— Растительный покров.

— Глубина оттаивания и температура почвы.

— Классификация почв.

— Устойчивость таяния.

— Несущая способность, сопротивляемость почвы (замерзшей и растаявшей).

— Физические и химические свойства почвы.

Общие географические данные.

— Выбор дорог.

— Ширина полосы отчуждения.

— Выбор мест для сброса отходов, стоянок машин и проведения работ.

Окружающая среда.

— Среда обитания диких животных и их миграционные пути.

— Миграция проходных рыб и среда их обитания.

— Критическое состояние среды обитания исчезающих видов диких животных.

* State Pipeline Coordinator.

† Senior Engineer to the State Pipeline Coordinator.

- Уменьшение отрицательного воздействия на среду.
- Ресурсы леса.
- Места отдыха.
- Оценка строительных материалов.
- Местоположение речных карьеров (гравия и песка).
- Местоположение карьеров гравия и песка, находящихся на возвышенностях.
- Лес промышленного значения.
- Потребление и сброс воды.

Для определения допустимого воздействия на окружающую среду необходима его постоянная оценка как с точки зрения проектной стоимости строительства, так и в плане его воздействия на общество. Это значит, что некоторые участки можно легко выбрать для производства работ в любой сезон года. На других же участках, по которым проходит тяжелый транспорт в летние месяцы, тундровый покров сильно разрушается, что в свою очередь потребует дополнительных затрат на восстановление (если оно возможно).

Время перекрытия рек и строительства сооружений для защиты трубопровода от эрозии должно быть выбрано с таким расчетом, чтобы не причинить вреда рыбным ресурсам. Следует проводить дренаж на местах во избежание засорения рек илом и нарушения целостности самого трубопровода. При этом нужно установить вероятность встречаемости наледей и рассчитать нагрузку льдов на сооружения, поддерживающие трубопровод: мосты, сваи или насыпи из гравия. Речные сооружения следует проектировать так, чтобы они не только предохраняли трубопровод от естественной эрозии, но и защищали открытые берега рек от эрозии антропогенного характера и разрушения.

Соблюдение предписаний и инструкций, соглашений об аренде и определенных законов способствует обеспечению целостности трубопровода, а также устранению вредных воздействий нарушения окружающей среды. Руководители проекта должны успешно сотрудничать с учреждениями, ведущими строительство, и организациями, ответственными за охрану окружающей среды.

M. C. Brewer
(USA, Anchorage, Alaska)

RESOURCE DEVELOPMENT AND RELATED ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ARCTIC ALASKA. IMPACT ON PERMAFROST

Permafrost is a condition, rather than a material, that prohibits, by freezing, the movement of any water enclosed in the soil. In most cases it eliminates internal subsurface drainage. In many cases it is one of the more effective agents in controlling the minor drainage patterns for surface waters.

The temperature of permafrost varies from place to place in Alaska, from near the freezing point of fresh water in central Alaska to about -12°C in northern Alaska. Although considerable variations in temperature may occur laterally within a few meters or tens of meters, depending on the material, moisture content, depth, presence or absence or change in the vegetative cover, winter snow cover, topography, elevation, whether a north or south facing slope, nearness of bodies of water, and other factors, a generalization usually can be made that the permafrost temperatures become colder with increasing latitudes. The temperature of permafrost also changes with the seasons, with the amount of change decreasing with depth until, at a depth of 20 m it may only be $0,01^{\circ}\text{C}$.

The moisture content in permafrost materials is extremely variable, ranging all the way from being almost pure water, in ice wedges, to being almost non-existent, in various rocks with few fissures. While the moisture content in permafrost in northern Alaska tends to be the highest in the upper 8 to 10 m, in central Alaska it may increase suddenly as buried ice wedges or ice lenses are encountered.

Permafrost, while usually frozen in a form resembling "ice crete", may be unfrozen if the materials contain brines. These conditions are found in certain inland areas of the coastal plain in northern Alaska. Gravels, near Barrow, have been found to contain brines with salinities as much as seven times those found in sea water, and to be unfrozen at a temperature of $-12,8^{\circ}\text{C}$. Similar conditions have been found with clays, at depths of 20 and 30 m in the same areas. "Dry permafrost", without sufficient moisture to hold the soil particles together, also has been found on ocean spits, on offshore barrier islands, and on some river gravel beds.

Merely by its presence, permafrost places severe constraints on resource development. Under normal conditions, it provides a stable structure to the soil materials. However, when the surface of the ground is modified by the processes and requirements involved in resource development, the thickness of the "active layer" is increased, causing ice in the upper part of the permafrost to melt. This melting often produces a chain of secondary events which may disastrously affect many other facets of the environment. Depending on the topography and the amount of ice included in the permafrost, the secondary events of greatest importance are erosion, differential settlement, or both. They can cause structural failure to occur in engineering projects and usually cause degradation of the surrounding environment.

The most significant effects are often associated with the development of modes of transportation, whether they be roads, pipelines, or ports, and without which there can be no significant development of resources. These projects also usually cross great distances, with varying soils and ice contents, and involve the disruption of considerable amounts of surface area. The protection of permafrost is not necessarily the goal to be always sought. However, very often it is the mechanism that must be used in order to protect many other aspects of the environment. This is particularly the case with projects that stretch over considerable distances. In other cases, especially in areas where the permafrost temperature is near 0°C and the construction will be confined to a small area, such as would be the case with a large building, there can be advantages in destroying the permafrost in the immediate area prior to the initiation of construction. Each situation must be considered separately.

M. Брюэр
(США, Анкоридж, Аляска)

РАЗРАБОТКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ АЛЯСКИ.— ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВЕЧНУЮ МЕРЗЛОТУ

Вечная мерзлота — это состояние почвы — грунтов, которое препятствует движению воды в них. В большинстве случаев она исключает внутренний грунтовый дренаж. В некоторых случаях вечная мерзлота является одним из наиболее эффективных факторов, контролирующих незначительный дренаж поверхностных вод.

Температура слоя вечной мерзлоты изменяется от района к району: от температуры, близкой к точке замораживания пресной воды в центральной Аляске, до -12°C в северной Аляске. Изучая колебания температуры на глубине нескольких метров или десятков метров в зависимости от грунтов, влагонасыщенности, глубины залегания мерзлоты, особенностей растительного покрова, толщины зимнего снежного покрова, рельефа, экспозиции склона, близости водоёмов и других факторов, можно сделать вывод, что температура вечной мерзлоты понижается с увеличением широты. Кроме того, температура вечной мерзлоты изменяется в зависимости от сезона года, однако с глубиной эти изменения уменьшаются и на глубине 20 м могут составлять лишь $0,01^{\circ}\text{C}$.

Содержание влаги в вечной мерзлоте сильно варьирует от стадии почти чистой воды в ледяных линзах до почти полного отсутствия ее в различных скалах с малочисленными расщелинами. В то время как содержание влаги в вечной мерзлоте в северной части Аляски является наибольшим в верхнем 8—10-метровом слое, в центральной части Аляски оно может неожиданно увеличиться там, где встречаются ледяные клинья и ледяные линзы.

Вечная мерзлота, обычно представляющая собой ледяной конгломерат, может быть разморожена, если в ней появляется рассол. Такие условия можно обнаружить в некоторых внутренних районах прибрежной равнины северной Аляски. Гравий около мыса Барроу содержит ледяной рассол. Соли в нем в 7 раз больше, чем в обычной морской воде. Ледяной рассол размораживается при температуре $-12,8^{\circ}\text{C}$. Аналогичные условия характерны для глинистых почв на глубинах 20 и 30 м в том же районе. «Сухая вечная мерзлота» без достаточного содержания влаги, способная удерживать частицы почвы вместе, обнаружена на океанических отмелях, на прибрежных островах и на гравийном дне некоторых рек.

Вечная мерзлота затрудняет разработку природных ресурсов. В нормальных условиях она является устойчивой структурой. Однако, когда поверхность почвы изменяется в результате процессов, связанных с разработкой природных ресурсов, толщина «активного слоя» увеличивается и вызывает таяние льда

в верхней части слоя вечной мерзлоты. Это таяние часто приводит к побочным последствиям. Наиболее значительными из них являются эрозия и различные формы оседания, зависящие от рельефа и количества льда в слое вечной мерзлоты. Они могут вызвать разрушения промышленных объектов и обычно ведут к изменениям окружающей среды.

Самые значительные последствия часто бывают связаны со строительством дорог, портов и прокладыванием трубопроводов, без которых немислима серьезная разработка природных ресурсов. Промышленная деятельность охватывает большие территории с различными почвами и различным содержанием льда и вызывает разрушение больших участков поверхности. Не всегда следует стремиться к сохранению вечной мерзлоты. Однако очень часто она необходима для охраны других компонентов окружающей среды. Так, например, при работах, которые ведутся на больших территориях нужно сохранять вечную мерзлоту. В других случаях, особенно там, где температура слоя вечной мерзлоты около 0°C и строительство ведется на маленькой площади, например, строительство большого здания, представляется разумным разрушить вечную мерзлоту на прилегающей территории до начала строительства. В каждом случае необходим индивидуальный подход.

S. M. Uspensky, N. V. Vekhov,
A. N. Kuliyev, V. A. Lobanov
(USSR, Moscow)

PROTECTION OF NATURAL COMPLEXES OF THE ARCTIC AND SUB-ARCTIC

The north of Eurasia and North America which possess substantial amount of natural resources are actively exploited by the man.

Despite the fact that economic development of these regions has been going on for short time, it is evident that ecosystems here are subject to unadvisable irreversible disturbances due to the impact of anthropogenic factors.

Animals is a component of the ecosystem of the Arctic and sub-Arctic that is particularly affected by the man's activity. Loading on food-animals resources is found to increase in the North; however the greater impact, both direct and indirect, falls on the regions of the animals' migrations and winterings, in densely populated regions of middle latitudes and of the South.

Anthropogenic factors of global character affecting ecosystems of the North, such as environmental pollution by chloroorganic and other toxic compounds, should also be taken into account.

The factors affecting ecosystems of high latitudes are as follows: 1) heat deficit, both in winter and in summer; 2) sharp changes in living conditions of organisms in time and space.

Organic world in these regions is characterized by generally low biological productivity, the lowest qualitative and quantitative inhomogeneity observed in seasons, individual years, during many-year periods (of "warmings" and "coolings").

In Arctic and sub-Arctic, as one moves from the South to the North one can notice that both species and biomass of vegetation and animals on the land are getting poor, whereas in the sea the life is relatively rich; trophic relationships here are shorter.

In Arctic and sub-Arctic, both the objects to be protected and centres of concentrated impact of anthropogenic factors are of local character. Therefore, establishment of a system of reserves and other protected territories here is seen as a most effective form of nature-protection measures.

It would have been a mistake however, for us to see only negative results of the impact of anthropogenic factors upon the ecosystems of the North. The man often helps to increase biological productivity of the mentioned ecosystems.

Transformation of tundra phytocenoses into more productive anthropogenic meadows may be given as an example to illustrate the above. This is connected with the destruction of moss cover and with the increase of soil-melting depth due to the use of vehicles and thanks to deer pasture.

Man's activity may also improve living conditions for many species of animals (by providing them with food, and giving them a shelter) as well as to create specific anthropogenic complexes in the animal world (Uspensky, 1959; 1974).

Even reindeer-breeding, a traditional branch of the economy in the Eurasian North, may result in serious irreversible disturbances of ecosystems unless specificity of local environment is taken into account. The developing industry has an immeasurably greater influence on ecosystems of Arctic and sub-Arctic. Consequences of this process have not been completely understood so far.

We may mention only some aspects of the process:

I. Mechanical impact of vehicles, especially caterpillar tractors, and construction upon vegetative and soil cover which results in 1) destruction of vegetation, 2) increase of soil-melting depth; 3) formation of thermokarst lakes and marshes; 4) active soil erosion.

II. Changes in chemical composition of the Environment as a result of oil pollution, natural gas burning, lifting on to the surface of deep ground layers, the use of pesticides etc. All this is particularly dangerous in high latitudes due to slow destruction of pollutants.

III. Different forms of accompanying impacts, such as destruction of the forest along its northern boundary; intensification of thermokarst processes; reduction in biological productivity of ecosystems; disturbances in vital activity processes of fauna species, for example, during the construction of oil and gas pipelines, power lines, etc. (Uspensky, 1974).

In the USSR, scientific background of protecting natural complexes of the Arctic and sub-Arctic are being developed in a number of higher educational institutions and scientific institutions including the Central Laboratory of Environmental Protection (CLEP), the Ministry of Agriculture.

The impact of anthropogenic factors upon natural complexes of tundra is carried out by CLEP on the basis of Vorkuta industrial region (eastern part of shrub subzone of Bolshezemelskaya tundra).

The main method used is complex shaping; geomorphological profiles 30 km. long are radiating from the city of Vorkuta. Along these complex biological sites are located at which many-year observations are conducted as to the changes taking place in different natural complexes due to the man's activity.

First results obtained by CLEP show that natural complexes get intensively polluted by drop-pulverized exhausts of industrial plants and heating systems. Water basins, get polluted by liquid waste of industrial plants, by pit water and everyday waste.

Acidity is found to decrease, while mineralization of water in lakes located in the vicinity of pits increases; this results from the fact that fine particles of dust masses scattered by the wind settle down.

Penetration of pit water into water basins results in destruction of aquatic plants (Vekhov, 1974). Discharge of sewage leads to complete disappearance of fish in the streams and of water invertebrate, except for chironomids, in the lakes.

However, at some distance from the pits, the species, amount and biomass of water invertebrate would not differ from those found in the outlying districts of tundra.

Analysing the stability of communities using the method of McArthur (1957) which is based on quantitative ratio, shows that some water communities in the Arctic zone may preserve the structure and species composition when substantial changes in environmental parameters take place (Vekhov).

As the impact of pollution in the Vorkuta industrial complex gets stronger, a necessity arises to study the influence of gas-pulverized exhausts upon tundra plants.

Increase of concentration of such harmful gases as SO₂, H₂S, CO results in disturbances in processes of photosynthesis in plants, affects their growth, and leads to their destruction.

There are no lichens in the vicinity of Vorkuta, particularly in its northern and eastern parts, the regions which are most badly polluted. Changes in species composition in moss cover take place: polytrichic moss is replaced by Aulacomnium moss; in the northern part of the region, the growth of peat moss is retarded, while Dicranum moss grows faster.

Analysing the ash of plants, an increased content of S, F₂Al, Pb, P was revealed. Mineralization of plants adds sulphuric acid to the soil, thus increasing migration capability of some elements (Al, Zn, Cu, Mn).

Geological survey results in serious destruction of vegetative cover; this inevitably leads to degradation of continuous permafrost and to soil erosion (Kuliyev).

Changes in the Environment, degradation of its conditions reduce species composition and quantity of ground vertebrates living in tundra, especially hunting predatory species.

It has been revealed that the density of birds nesting within a 10 km zone around Vorkuta industrial complex has decreased. The amount of nesting birds, as compared with the surrounding tundra, is less by 14 species.

Population of lapland plantains has undergone changes in morphophysiological indices of internal organs resulting from environmental pollution. During spring migration, a lot of willow-ptarmigans get killed crashing against power lines (Lobanov).

To determine the impact of antropogenic factors upon natural complexes of tundra, CLEP is now using biological indicators. This includes some species of moss and lichens, some communities of water invertebrate which are capable of accumulating products of industrial pollution; this also includes some kinds of birds, their morphophysiological parameters (according to academician Shvarts), dynamics of quantity, peculiarities of biotopical distribution, and trends of periodical events in their lives.

С. М. Успенский, Н. В. Вехов, А. Н. Кулиев, В. А. Лобанов
(СССР, Москва)

ОХРАНА ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ

Север Евразии и Северной Америки, располагающий значительными природными ресурсами, интенсивно осваивается человеком. Несмотря на то, что история хозяйственного освоения этих областей еще очень коротка, становится очевидным, что под воздействием антропогенных факторов экосистемы здесь оказываются особенно уязвимыми потому, что в них легко могут быть вызваны нежелательные, необратимые нарушения. Среди компонентов экосистемы Арктики и Субарктики наиболее ошущимое воздействие человека испытывает на себе животный мир. На Севере нагрузка на ресурсы промысловых животных возрастает, однако еще большее, прямое и косвенное воздействие человек оказывает на них в районах их миграций и зимовок, в густонаселенных областях средних широт и юга. Следует, конечно, учитывать влияние на экосистемы Севера и антропогенных факторов глобального характера, например, загрязнения природной среды хлорорганическими и другими токсичными соединениями.

В основе повышенной уязвимости экосистем высоких широт лежат дефицит тепла не только зимой, но и летом, резкие изменения условий обитания организмов во времени и пространстве. Органический мир этих областей характеризуется в общем невысокой биологической продуктивностью, крайней качественной и количественной неоднородностью — по сезонам года, отдельным годам, в течение многолетних периодов («попелений» и «похолоданий»). По мере движения с юга на север в Субарктике и Арктике происходит быстрое обеднение как видового состава, так и биомассы растительности и животного мира суши при сохранении относительного богатства жизни в море, резкое укорочение трофических связей.

Для Арктики и Субарктики специфичен локальный характер как нуждающихся в охране объектов, так и очагов массированного воздействия антропогенных факторов, в связи с чем, создание, например, системы заповедников и других охраняемых территорий здесь становится особенно эффективной формой природоохранной мероприятий.

Было бы, однако, ошибкой видеть в воздействии антропогенных факторов на экосистемы Севера лишь негативные результаты. Человек нередко способствует повышению биологической продуктивности этих экосистем, одним из проявлений чего служит трансформация тундровых фитоценозов в более продуктивные антропогенные луга, связанная с разрушением моховой дернины и возрастанием глубины протаивания почвы под умеренным воздействием механического транспорта, выпаса оленей и т. д. Деятельность человека может способствовать улучшению здесь также условий обитания многих видов животных (вследствие улучшения их кормовых возможностей, создания дефицитных в тундрах укрытий), формированию в животном мире специфических антропогенных комплексов (Успенский, 1959; 1974).

Даже северное оленеводство — традиционная отрасль хозяйства на Евразийском Севере, если оно ведется без учета специфики местной природной среды, вызывает глубокие, иногда необратимые нарушения в экосистемах. Неизмеримо более глубокой перестройке подвергаются экосистемы Арктики и Субарктики под влиянием развивающейся индустрии. Последствия этого процесса в полной мере остаются еще неясными. Можно лишь отметить некоторые их направления.

1. Механическое воздействие на растительный и почвенный покров наземного, особенно, гусеничного транспорта, строительства, связанные с ними уничтожение растительности, увеличение глубины протаивания грунтов, образование термокарстовых озер и болот, активная эрозия почв.

2. Изменения химического состава среды в результате нефтяных загрязнений, сжигания природного газа, подъема на поверхность глубоко залегающих пород, применения пестицидов и т. д. представляет в высоких широтах особую опасность вследствие медленного разрушения загрязняющих материалов.

3. Различные формы сопутствующего воздействия — изреживание и уничтожение лесов на северном пределе их произрастания, интенсификация процессов термокарста, падение биологической продуктивности экосистем, нарушение процессов жизнедеятельности видов фауны, например, при строительстве нефте- и газопроводов, линий электропередач и др. (Успенский, 1974).

Научные основы охраны природных комплексов Арктики и Субарктики в СССР разрабатываются рядом вузов и научных учреждений, в том числе Центральной лабораторией охраны природы (ЦЛОП) МСХ СССР, имеющей отдел природных комплексов Арктики и Субарктики и их охраны.

Изучение влияния антропогенных факторов на природные комплексы тундры ЦЛОП проводит главным образом на примере Воркутинского промышленного района (восточная часть кустарниковой подзоны бореальной тундры). Основным методом исследования — комплексное профилирование; радиально от г. Воркуты заложены геоморфологические профили протяженностью около 30 км каждый. К ним приурочены комплексные биологические площадки, на которых проводятся многолетние наблюдения за изменениями, происходящими в различных природных комплексах под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Первые результаты исследований ЦЛОП показывают, что природные комплексы интенсивно загрязняются капельно-пылевыми выбросами промышленности и отопительных систем. Водоёмы загрязняются жидкими отходами промышленности, шахтными водами и бытовыми отбросами, оказывающими большое влияние на водоёмы тундры. При этом понижается кислотность и увеличивается минерализация вод в озерах, расположенных вокруг шахт, что вызвано оседанием мелких частиц из пылевых масс, разносимых ветром. Попадание сточных вод шахт в водоёмы вызывает гибель водных растений. (Вехов, 1974). Наблюдается почти полное исчезновение рыбы в ручьях, куда осуществляется сброс шахтных вод; в озерах почти вовсе отсутствуют водные беспозвоночные за исключением хирономид. Однако с удалением от шахт на небольшое расстояние видовой состав, численность и биомасса водных беспозвоночных не отличаются от таковых периферийной тундры. Анализ стабильности сообществ по методу Мак Артура (1957), основанный на соотношении численности, подтвердил, что некоторые водные сообщества арктической зоны могут сохранять свою структуру и видовой состав при существенном изменении параметров среды (Н. В. Вехов).

В связи с возрастающим влиянием загрязнений Воркутинского промышленного комплекса, возникает необходимость изучения воздействия газо-пылевидных выбросов на растения тундры. Повышение в воздухе концентрации таких вредных газов, как SO_2 , H_2S , CO приводит к нарушению в растениях процессов фотосинтеза, замедлению их роста, отравлению и гибели. В растительном покрове окрестностей Воркуты, особенно в северных и восточных наиболее загрязненных частях района, отсутствуют лишайники. Происходит смена видового состава в моховом покрове, политриховые мхи заменяются алакомниумовыми, на севере района замедляется рост сфагновых мхов и начинают активно расти дикорастущие. Анализ золь растений показывает повышенное содержание здесь S, Fe, Al, Pb, P. При минерализации растений в почве образуется серная кислота, повышающая миграционную способность ряда элементов (Al, Zn, Cu, Mn).

При проведении геологоразведочных работ сильно разрушается растительный покров, что неизбежно приводит к деградации многолетних мерзлых грунтов и эрозии почв (А. Н. Кулиев).

Изменение окружающей среды, ухудшение ее состояния приводят к обеднению видового состава и сокращению численности наземных позвоночных тундры, в первую очередь охотничье-промысловых и хищных видов.

Абсолютные учеты показали уменьшение плотности гнездования птиц особенно в 10-километровой зоне вокруг Воркутинского промышленного комплекса. Здесь же отмечено сокращение количества гнездящихся видов птиц (по сравнению с окружающей тундрой отсутствуют 14 видов). На примере популяции лапландского подорожника отмечено изменение морфобиологических индексов внутренних органов под влиянием загрязнения внешней среды. Во время весенних пролетов гибнет масса белых курапатов, разбиваясь о провода (В. А. Лобанов).

Для определения степени влияния антропогенных факторов на природные комплексы тундры ЦЛОП начинает применять биологические индикаторы. Это прежде всего ряд видов мхов и лишайников, некоторые сообщества водных беспозвоночных, способные аккумулировать продукты промышленных загрязнений, а также виды птиц — их морфобиологические параметры (по методике акад. С. С. Шварца), динамика численности, особенности биотопического размещения, ход периодических явлений в их жизни.

V. V. Kryuchkov
(USSR, Moscow)

THE CHANGE OF THE NORTHERN ENVIRONMENT AS A RESULT OF ITS USE

Forecasts of anthropogenic impact on the Environment enable taking steps to avoid deviations in ecological equilibrium and

to a chieve more harmonious relationships between the man and the Nature.

Soil-vegetative cover has undergone maximum changes in the course of economic exploitation of the Extreme North. As a result of man's impact, which started 3—6 thou. years ago, in combination with natural processes, the northern boundary of forests moves southward; thus the band of relative forestless of the taiga is found to increase, reaching in the Soviet North about 500 000 km². This band can be successfully used for forest-plantations purpose.

Construction of settlements, mines, air-fields, roads, oil-and-gas pipelines etc. result in increase of forest fires and lead therefore to expansion of forestless areas in the northern taiga and forest-tundra tens and hundreds kilometers down to the South.

If we assume that relative forestless of tundra will be increasing by 0.5% every year, then during 30 years the forestless band will increase by 75 000 km², i. e. vast areas of the northern taiga will change into forest-tundra.

If we assume that tundra-like territories will be increasing by 1% every year, then during 30 years the forestless areas in the North will increase by 150 000 km². The above figures are the least of possible, for 40—50 years ago, many cities and settlements in the North, now found in forestless areas, were surrounded by sparse growth of trees and even by forests.

It should also be taken into account that more than 3 million deer, both domestic and wild, cross the northern boundary of forests twice a year; they eat young sprouts, leaves; trample down shoots etc. Deer herds are accompanied by thousands of reindeer-breeder who use trees and bushes as firing; this often results in forest fires.

It is an often case that the vast territory of the Extreme North, with its permafrost grounds, and mineral resources being developed only near industrial centres, is devoid of flood-lands; changing marshes into meadows is impossible under permafrost conditions.

The only way to expand agricultural lands here is to develop tundra, forest-tundra and northern-taiga areas. Up to now, more than 600 000 hectares of such areas near industrial centres have been exploited; of this 3000 hectares fall on tundra and forest-tundra.

In future, these territories used for growing vegetables and fodder grass would expand forming wider concentric bands around industrial centres in tundra and forest-tundra.

Grounds and relief. In 1940—1950-s, it was thought that permafrost hampers erosion development, conserves landscapes and prevents the latter from rapid changes (Grigoryev, 1946; Sokolov, 1952). However, recent decades of intensive industrial development showed that permafrost grounds is a vulnerable component of the natural systems. It is a natural vegetative cover that is capable of preserving the relief.

An intensive growth of thermokarst-erosion relief coincides with the time when heavy vehicles first appeared in the Extreme North, destroying the moss-grass cover. Thermokarst-erosion forms of the relief (chasms, pits, ravines) appear both in rainy and dry warm weather due to melting of surface ice. Ravines propagate at a rapid rate from 8 to 25 m per year-making vast areas useless for economic application.

Dust is an important factor in thermokarst formation growth. Shvetsov (1964) revealed that during warm periods the increase of soil temperature and hence of the heat flow density in the upper layer occur during the same periods of time from the South to the North. It means that in case the increase of temperature of the air and soil surface is the same, the thickness increment of a seasonally-melted layer will be greater in the North than in the South.

This fact results, in particular, in a greater number of thermokarst lakes in tundra as compared with forest-tundra, and in forest-tundra the number of lakes exceeds that found in northern taiga. If anthropogenic factors (removal of the moss-peat layer; dust formation) are added to usual temperature fluctuations (2—3 year periods, 11 year period etc.) this often results in destruction of roads and buildings; in formation of water basins in which buildings submerge.

At present, 10—20% of the territory in the vicinity of a number of settlements is covered with thermokarst-erosion ravines, lakes and other negative forms of relief.

The lack of eversurface phytomass and roots to strengthen the soil results in intensive bulding and frost sorting of the soil and, thus, to expansion of territories covered with spotty, knobby, polygonally-cracked forms of microrelief.

It is known that the abundance of phytomass in the North is in reverse proportional dependence to the amount of zonal microrelief forms mentioned above; these formations are observed mainly in polar deserts and in Arctic tundras; as one moves southward, the number of these decreases.

However, as a result of man's activity, polar desert and Arctic forms of microrelief are now found in forest-tundra and even in taiga.

Animals. As a result of settlements appearing in the North, some birds and animals get shelter and food; among these are skuas, sea-gulls, snipes, blackbirds, lemmings, ermines, etc.

At the same time during recent decades it was observed that forest animals were moving to the Northern tundra zone: elks, brown bears, red foxes, lynxes, martens etc. This may happen because the man came to inhabit the tundra. However, the reason of this phenomenon has not yet been cleared.

Creation of artificial phytocenoses is now under way, i. e. meadows in the tundra are surrounded by forest and bush bands to improve the microclimate and to raise the harvest.

Just as zones of forest-steppes and steppes are used for growing corn, in a few decades the zones of tundra and forest-tundra will be used for foddergrass cultivation to develop local milk cattle-breeding and reindeer-breeding.

In a few decades, the greater part of typical tundras and Arctic tundras will apparently become zones for rearing musk-oxen.

Foddergrass cultivation will help bring to a stop the expansion of thermokarst-erosion and knobby forms of the relief. Wild self-regulating ecosystems of Arctic and sub-Arctic will be preserved only in reservations which should cover not less than 20% of the Extreme North territory.

В. В. Крючков
(СССР, Москва)

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА В СВЯЗИ С ЕГО ОСВОЕНИЕМ

Прогнозы антропогенных воздействий на природу дают возможность принять меры к преодолению отклонений в экологическом равновесии и достичь более гармоничных взаимоотношений человека с природой.

Почвенно-растительный покров в процессе освоения Крайнего Севера подвергается наибольшему изменению. Воздействие человека на северную границу лесов, начавшееся 3—6 тысячелетий тому назад, в сочетании с естественными процессами ведет к отступлению ее к югу, вследствие чего возрастает полоса относительного безлесия тундры. На Советском Севере она равняется сейчас примерно 500 тыс. км². В этой полосе возможны успешные лесопосадки. Строительство населенных пунктов, рудников, аэродромов, дорог, нефте- и газопроводов и т. д. и сопутствующее им увеличение пожаров ведут к возрастанию площади безлесных участков в северной тайге, лесотундре, проникновению обезлесенных тундроподобных участков на десятки и сотни километров к югу. Если принять, что ежегодное увеличение относительного безлесия тундры будет происходить всего на 0,5% по отношению к существующей полосе, то через 30 лет безлесная полоса возрастет за счет лесотундры на 75 тыс. км²; т. е. значительные районы северной тайги превратятся в лесотундру. Если принять, что тундроподобные территории ежегодно будут увеличиваться на 1%, то через 30 лет безлесные площади на Севере возрастут на 150 тыс. км². Эти цифры наименьшие из возможных, поскольку 40—50 лет назад многие северные города и поселки были окружены редколесьями и даже лесами, а теперь находятся среди безлесных пространств.

Необходимо также учесть, что более 3 млн. голов оленей — домашних и диких — дважды в год пересекают северную границу лесов, обкусывая подрост, обедая побеги, листья деревьев и кустарников, вытаптывая всходы и т. д. Со стадами оленей передвигаются тысячи оленеводов, использующих на топливо и другие бытовые нужды деревья и кустарники, при этом нередко возникают пожары.

На огромной территории Крайнего Севера с его вечномёрзлыми грунтами и очаговым освоением минеральных ресурсов возле промышленных центров часто отсутствуют поймы рек, а освоение болот под луга на вечной мерзлоте невозможно. Единственный путь для расширения сельскохозяйственных угодий здесь — это освоение тундровых, лесотундровых и северо-таежных земель. Уже в настоящее время вокруг промышленно-индустриальных центров Крайнего Севера СССР таких земель освоено более 600 тыс. га, из них в тундре и лесотундре около 3 тыс. га. В дальнейшем территории вокруг промышленно-индустриальных центров тундры и лесотундры, занятые под овощные культуры и кормовые травы, будут возрастать, окружая эти центры все более широкими concentрическими полосами.

Почвогрунты и рельеф. Еще в 40—50 х годах нашего столетия господствовала точка зрения, что вечная мерзлота препятствует развитию эрозии, консервирует ландшафты и препятствует их быстрому изменению (А. А. Григорьев, 1946; А. А. Соколов, 1952). Последние десятилетия интенсивного промышленного освоения показали, что именно вечномёрзлые грунты, насыщенные льдами, — очень уязвимый компонент природных си-

стем. Не вечная мерзлота, а естественный растительный покров способен сохранять рельеф. Интенсивный рост термокарстово-эрозийного рельефа совпадает с появлением на Крайнем Севере тяжелых машин, уничтожающих мохово-травянистый покров. Термокарстово-эрозийные формы рельефа — провалы, овраги — образуются как в дождливую, так и в сухую теплую погоду за счет таяния подземных льдов. Овраги растут с большой скоростью — от 8 до 25 м в год, причем наиболее интенсивно за счет появления отвершков, вывода из хозяйственного пользования большие площади.

Важным фактором роста термокарстовых образований является также заплытие. П. Ф. Швецовым [1964] установлено, что во время потепления приращение температуры в почве и, следовательно, плотность теплового потока в верхнем ее слое увеличиваются в один и те же отрезки времени с юга на север, т. е. при одинаковом повышении температуры воздуха и поверхности почвы приращение толщины сезонно-талого слоя на севере будет больше, чем на юге. Это сказывается, в частности, на значительно большем количестве термокарстовых озер в тундре по сравнению с лесотундрой, а в лесотундре по сравнению с северной тайгой. Если же на обычные температурные колебания (2—3-дневные, 11-дневные и т. д.) накладываются антропогенные факторы: удаление мохово-торфянистого слоя, заплытие, — это нередко ведет к провалам и разрушению дорог, зданий, образований водоёмов, в которые погружаются постройки и т. п. В настоящее время в окрестностях ряда населенных пунктов от 10 до 20% территории покрыто термокарстово-эрозийными оврагами, провалами, озерами и другими отрицательными формами рельефа.

Уменьшение наземной фитомассы и корней, скрепляющих почву, ведет к интенсивному пучению, морозной сортировке грунтов и соответственно росту территорий, занятых пятнистыми, бугорковатыми, полигонально-трещиноватыми формами микрорельефа. Известно, что на Севере обилие фитомассы и количество названных зональных форм микрорельефа находятся в обратной пропорциональной зависимости: этих образований больше всего в полярных пустынях и в арктических тундрах, по мере движения к югу они уменьшаются. Но вследствие деятельности человека в настоящее время идет продвижение на юг — в лесотундру и даже тайгу — полярно-пустынных и арктических форм микрорельефа.

Животный мир. Проникновение человека на север со строительством населенных пунктов, неизбежными отходами дает некоторым животным дополнительные укрытия и корм — поморникам, чайкам, куликам, дроздам, леммингам, горностаям и др.

Вместе с этим отмечено, что в последние десятилетия наблюдается устойчивое продвижение лесных животных на север, в тундровую зону: лось, бурый медведь, красная лисица, рысь, лесная куница и др. Причина этого явления до конца не выяснена. Не исключено, что оно связано с продвижением человека в тундру.

Начинается создание искусственных фитоценозов — залуженные участки тундр оконтуриваются лесокустарниковыми полосами, которые улучшают микроклимат полей и способствуют повышению урожая. Так же как зоны лесостепей и степей стали зонами возделывания хлебов, так и зоны тундры и лесотундры станут через несколько десятилетий зонами травосеяния, где будет развиваться пригородное молочное животноводство и оленеводство. Большая часть типичных тундр, а также арктические тундры станут, по-видимому, через несколько десятилетий также зоной разведения овцебыков.

Травосеяние будет способствовать прекращению роста термокарстово-эрозийных и мелкобугристых форм рельефа. И только в заповедниках, которые должны занимать не менее 20% территории Крайнего Севера, будут сохранены дикие саморегулируемые экосистемы Арктики и Субарктики.

Yu. G. Zharkova
(USSR, Moscow)

IMPACT OF CERTAIN ANTHROPOGENIC FACTORS ON TUNDRA COMPLEXES OF EUROPEAN NORTH OF THE USSR

In connection with intensive economic development of northern regions, an increasing attention is being given in the USSR to the study of anthropogenic impact on tundra biogeocenoses. This impact is great and includes the following factors:

I. Industrial pollution of the Environment, which often results in variations in physico-chemical properties of the air and soil. This in its turn affects photosynthesis and production of vegetative communities. Industrial enterprises exert influence upon thermodynamical processes, which is of a great importance under permafrost conditions.

II. The impact of transport on vegetative cover and soil. Destruction of moss cover and peaty level leads to increase of melted soil level. This results in degradation of permafrost and in formation of thawing spots. As a result ravines and pools often come into being. However, it is not always that thermokarst events result in erosion development.

III. The impact of pasturage. It has both positive and negative aspects: 1) increase of plants not much eaten by animals, 2) better conditions for seed germination as a result of destruction of soil cover during deer pasturage; 3) destruction of moss cover and peaty level on the steep slopes may result in erosion formation.

The Bolshezemelskaya tundra is a most suitable region for studying the above impacts. This region combines intensive industrial development (coal, gas-and-oil industry) and agriculture. According to a number of authoritative specialists (A. A. Grigoriev et al.), this region is a nice model for studying main characteristics of tundra landscapes.

Investigations carried out in the eastern part of the Bolshezemelskaya tundra (Vorkuta industrial complex) show that coal industry has great influence on biological and chemical composition of water basins, i. e. the amount of oxygen is found to decrease by 1.5—2 orders of magnitude; plankton at water-removing points resembles plankton of biological winter (amount of organisms-filtrates is found to reduce by 60%).

Pit gases pollution exerts great influence on snowmelt intensity, on species composition and phenology of plants, on production and growth of flora. Vegetation and flowering of plants near the pits starts 5—6 days earlier than in plants communities located 6—7 km far away from pits. Growth of willow in a willow-grass-moss communities and growth and production of sedge in a sedge-moss communities near the pits (at a distance of 0.5—1 km) is somewhat higher than that in plants communities located far away from pits, by 30—35% in the case of willow and by 10% in the case of sedge. This is explained by the fact that near pits the depth of permafrost-melt is 10—15 cm larger than that in plants communities which are not subject, or subject to insignificant extent, to man's impact. It is an often case that in the regions of coal strata development there form gaps which are filled in with the earth collected from surrounding area which exceeds the area of a gap to be filled in, by 8—10 orders of magnitude. As a result, vegetation and upper soil level are destroyed at vast areas, and it takes a long time for other vegetative groups to form here. However, if proper land-reclamation measures are taken, new phytocenoses can be created, with cereals crops prevailing. Productivity of these may be much higher, than productivity of local plants community.

The impact of different types of machinery (tractors, cross-country vehicles, motor-vehicles) is very dissimilar when used in different seasons.

Cross-country vehicles have the least influence on tundra biogeocenoses when they drive one way in winter: individual bushes damaged; no destruction of moss cover and peaty level observed; thermokarst crash and pools absent. Dynamics of groundmelt observed under cross-country vehicles' track in winter and in local plants communities is almost the same.

Cross-country vehicles' drive in summer results in destruction of bushes and moss level. The depth of melting on the track exceeds that observed in undisturbed plants communities, by 12—15 cm. The maximum difference is observed in spring (15—18 cm); by the end of summer it comes to 8—10 cm. On southern slopes, thermokarst crashes are often formed along tracks.

Tundra phytocenoses are most seriously damaged by tractors: bushes and shrubs are found completely destroyed, moss cover and peaty level seriously damaged. Damaged moss cover slips along the tracks down the slopes; pools come into being. The depth of melting on the track exceeds that observed in undisturbed plant communities, by 20—30 cm. In the following year, pools 20—50 cm deep are often formed in tracks.

The impact of motor vehicles on tundra biogeocenoses may be different and depends on intensity of the use of landscapes, especially those crossed by roads, as well as on other factors. It should be noted that the depth of melting observed on motor roads, where we have unclosed moss cover, is 2—2.5 orders of magnitude less than in local willow-grass-moss communities. The impact of the above anthropogenic factors on tundra phytocenoses is found to be great and further investigations on this problem are to be made.

Ю. Г. Жаркова
(СССР, Москва)

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ТУНДРОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА СССР

В связи с интенсивным хозяйственным освоением северных районов в СССР все большее внимание уделяется изучению антропогенного воздействия на тундровые биогеоценозы. Это влияние огромно и сводится к следующему:

1. Промышленному загрязнению среды, часто приводящему к изменению физико-химических свойств воздуха и почвы, которое в свою очередь, воздействует на фотосинтез и продукцию растительных сообществ. Большому влиянию промышленных предприятий на термодинамические процессы, что в условиях вечной мерзлоты имеет очень большое значение.

2. Воздействие транспорта на растительный покров и почву: уничтожение мохового покрова и торфянистого горизонта вызывает увеличение мощности оттаявшего горизонта почвы, т. е. происходит деградация вечной мерзлоты и формирование таликов, в результате чего часто образуются овраги или промоины. Однако не всегда термокарстовые явления приводят к развитию эрозии.

3. Влиянию пастыби скота, которое в тундре имеет и положительные и отрицательные стороны, а именно: на пастбищах увеличивается обилие малопоедаемых растений, а в результате нарушения напочвенного покрова улучшаются условия для прорастания семян. Однако на крутых склонах нарушение целостности мохового покрова и торфянистого горизонта может привести к эрозии.

Оптимальным районом для изучения воздействия перечисленных выше антропогенных факторов является Большеземельская тундра, где сочетаются интенсивное развитие промышленности (угольной, газонефтедобывающей) и сельского хозяйства. Большеземельская тундра, по мнению ряда специалистов (А. А. Григорьев и др.), служит прекрасной моделью для изучения основных характеристик тундровых ландшафтов.

Исследования, проведенные нами на востоке Большеземельской тундры (Воркутинский промышленный комплекс), показали, что угольная промышленность оказывает огромное влияние на биологический и химический состав водоемов: количество кислорода в водоемах уменьшается в 1,5—2 раза, планктон в местах сброса напоминает планктон биологической зимы (количество организмов—фильтратов уменьшается на 60%).

Задолженность шахтными газами сильно воздействует на интенсивность снеготаяния, видовой состав и фенологию растений, продукцию и прирост растительности. Вегетация и цветение растений вблизи шахт начинаются на 5—6 дней раньше, чем в сообществах, расположенных в 6—7 км от них. Прирост ивы в ивняково-разнотравно-моховых сообществах, а также прирост и продукция осики прямостоящей в осокново-моховом сообществе вблизи шахт (в 0,5—1 км от шахты), несколько выше, чем в сообществах, удаленных от них на значительные расстояния: у ивы — на 30—35% у осики — на 10%. Это объясняется тем, что глубина оттаивания мерзлоты вблизи шахт на 10—15 см больше, чем в местах на подверженных совсем или подверженных в незначительной степени воздействию человека. Часто в местах разработок угольных пластов образуются провалы, которые засыпаются землей с окружающих участков, превышающих по площади провалы в 8—10 раз. В результате этих работ происходит уничтожение растительности и верхних горизонтов почвы на огромных площадях, где новые растительные группировки образуются очень медленно. Однако на этих участках при надлежащих мелиоративных мероприятиях можно создать новые фитоценозы, в которых будут преобладать злаки и продуктивность которых может быть значительно выше, чем коренных пород.

Влияние различных видов машин (тракторов, вездеходов, автомашин) в разные сезоны весьма неодинаково.

Наименьшее влияние на тундровые биогеоценозы оказывают вездеходы при однократном прохождении зимой: они повреждают отдельные кустарники, но не нарушают моховый покров и торфянистый горизонт. Термокарстовые просадки и промоины не образуются. Динамика протаивания грунта под вездеходной зимней колеёй и в коренных сообществах почти одинакова.

При движении вездехода летом наблюдаются повреждения кустарников, мохового горизонта. Глубина протаивания на вездеходной колеёй на 12—15 см больше, чем в ненарушенном сообществе. Особенно велика разница в глубине протаивания весной (15—18 см) и меньше к концу лета (8—10 см). На южных склонах по тракам гусениц часто образуются термокарстовые просадки.

Наибольший вред тундровым фитоценозам наносят тракторы: кустарниковый и кустарничковый ярусы при их движе-

нии бывают полностью уничтожены, а моховой покров и торфянистый горизонт — повреждены очень сильно. На крутых склонах по тракам гусениц происходит сползание нарушенного мохового покрова вниз по склону, образуются промоины. Глубина протаивания на колеях на 20—30 см больше, чем в окружающих ненарушенных сообществах. По следам трактора на следующий год часто образуются промоины глубиной 20—50 см.

Влияния автотранспорта на тундровые биогеоценозы весьма различно и зависит от интенсивности движения, особенностей ландшафтов, по которым проходит дорога, и ряда других факторов. Следует только отметить, что глубина протаивания на автодороге, где имеется несомкнутый моховой покров, в 2—2,5 раза меньше, чем в коренных ивняково-разнотравно-моховых сообществах. Влияние перечисленных антропогенных факторов на тундровые фитоценозы очень велико, и исследования по его изучению следует продолжить.

B. B. Borzhonov, E. K. Borozdin,
N. O. Dyachenko, V. A. Zabrodin
(USSR, Norilsk)

THE DOMESTIC REINDEER INDUSTRY INFLUENCE ON THE FLORA AND FAUNA OF THE TUNDRA OF THE USSR

There are about 2,5 mln. of domesticated reindeer in the Soviet Union, or almost 80% of the world number. The reindeer industry is one of the most important branches of the Extreme North Agriculture and the basic field of the economy and material welfare of the Natives. The profitable reindeer industry yields the marketable high-quality production.

The reindeer is the only agricultural animal which can use the scanty north pastures all the year round drawing into the economy the enormous tundra and taiga territories. In the developed reindeer industry regions 100 ha of the reindeer pastures yield 40 metric centners of the reindeer production.

Nowadays there are two systems of the reindeer industry management in the USSR: open-herding (the animals are watched by the herdsman who control and direct the reindeer moving), and close-herding at the enclosed pastures (the animals graze free, but the territory is limited with the fence).

The various management systems of the herds influence differently on the flora and fauna of the ecosystems.

The Soviet scientists have worked out the north reindeer industry management system which ensures the highest possible preservation of the natural ecosystems. It is accomplished by means of production process planning and first of all the pasture utilization.

The Soviet scientists have worked out the reindeer pasture capacity norms allowing to determine the possible duration and intensity of herd pasturing without irreversible plant cover destruction. One of the most important measures for the reindeer pasture preservation is the so-called pasture turnover providing one-year utilization and its "rest" within next two years. The breach of this system causes the pasture impoverishment and the destruction of the ecosystems with the result of the substitution of the lichens, prevailing in plant composition, by the cereals and sedges.

The habitat of the domesticated reindeer is similar to that of the wild animals, that is why the close contacts and complex relationships exist between wild animals and domesticated reindeer. As a whole with the development of the domestic reindeer industry its influence on the wild life increases.

The domesticated and wild reindeer are competitors in the pasture utilization. Nowadays in the areas with high number of wild deer (the North of the Yenisei basin and Yakutskaya ASSR), the wild reindeer number is regulated and somewhat the development of the domestic reindeer industry is limited. In the other North areas the wild reindeer were replaced by the domesticated ones.

The predators, especially wolves cause great damage to the domesticated reindeer herds. Therefore the regular wolves control is carried out everywhere by means of aviation and chemical pest killers. The wolves number is diminished significantly in the Europe tundra of the USSR and in the North of the West Siberia.

The representatives of the black-cock family and the waterfowl and domesticated reindeer are the competitors in the plant cover utilization. The complex relationships exist between these animal groups.

In summer the overgrazing of the pastures by the huge domesticated reindeer herds causes the destruction and trampling of some territory where the ptarmigans and geese dwell. The nests

are ruined too. But in winter and spring the snow digging made by the reindeer in search of forage helps ptarmigans and geese to get forage.

The infectious invasional diseases must be taken into account for the thorough understanding of relationships between the domesticated and wild reindeer. Necrobacteriosis, bronchopneumonia, mange, brucellosis, oedemagenosis and even anthrax are common both for wild and domesticated reindeer. Epizootological conditions are connected with the wild deer number, their migration patterns and pasturage routes. Such diseases as anthrax, brucellosis, mange, foot-and-mouth disease etc. are able to communicate from the domesticated reindeer to some species of the wild animals (deer, wolves, mooses, arctic foxes). Even nowadays brucellosis and anthrax are the most dangerous because the natural resources of these diseases exist in some north regions. Because of the great resistance of the spore form *Bac. antracis* to the environment impact the possibility of the infection of some species such as wild reindeer, mooses and predators exists during many years after this disease outbreak in the herds of domesticated reindeer. The appearance of brucellosis in the domesticated reindeer herds influence negatively on such large populations of the wild reindeer as Taymyr and Yakutia populations. Therefore it is necessary to make a routine disease-prevention measures in order to prevent the disease spreading among the wild animals.

Only when undertaking the proper measures for wildlife prevention the domestic reindeer industry will influence less negatively on the tundra and taiga animal world.

**Б. Б. Боржонова, Э. К. Бороздин, Н. О. Дьяченко,
В. А. Забродин, Р. П. Щелкунова**
(СССР, Норильск)

ВЛИЯНИЕ ДОМАШНЕГО ОЛЕНЕВОДСТВА НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР ТУНДРЫ СССР

В СССР насчитывается около 2,5 млн. домашних северных оленей, что составляет почти 90% их мирового поголовья. Оленеводство является одной из основных отраслей сельскохозяйственного производства на Крайнем Севере и основой экономики и материального благополучия коренных народов Севера.

Северный олень находится на круглогодичном пастбищном содержании. Это единственное сельскохозяйственное животное, способное использовать скудные северные пастбища, занимающие огромные территории тундры и тайги.

В настоящее время в СССР применяются две системы ведения оленеводства: стадный выпас, когда животные находятся под постоянным наблюдением пастухов, регулирующих их передвижение по пастбищам, и полувольное содержание на огороженных пастбищах, когда животные одни пасутся на территории, ограниченной изгородью. При разных системах содержания оленей воздействие стада на животных и растительный мир различно.

Разработанная в Советском Союзе система ведения северного оленеводства обеспечивает максимальное сохранение естественных биоценозов. Это осуществляется с помощью планирования всех производственных процессов и, в первую очередь, использования пастбищ.

Землеустройством выделяются пастбища для шести сезонов, с учетом ботанического состава растений, фитомассы и доступности пастбищ для оленей. Разработаны нормы, позволяющие для каждого пастбищного участка определить возможную длительность и интенсивность выпаса стада без необратимого нарушения растительного покрова. Фактическая площадь, необходимая для выпаса одного оленя в год, колеблется в разных районах ведения оленеводства от 50 до 300 га. Одним из важнейших мероприятий по сохранению оленьих пастбищ являются пастбищесбороты, обеспечивающие использование участков в течение одного года и «отдых» пастбищ в течение двух лет.

Несоблюдение установленной системы приводит к оскудению пастбищ и нарушению биоценозов, в результате чего растительные группировки с преобладанием лишайников заменяются злаками и осоками.

Среда обитания домашних оленей в основном сходна со средой обитания диких животных. Поэтому между дикими животными и домашними оленями существуют тесные контакты и сложные взаимоотношения. По мере развития домашнего оленеводства его влияние на дикую фауну возрастает.

Домашние и дикие олени являются конкурентами в использовании пастбищ. В районах с большим количеством диких оленей (Енисейский Север и Якутская АССР) в настоящее время проводятся мероприятия по регулированию численности диких оленей и в определенных пределах ограничивается развитие домашнего оленеводства. В остальных районах Севера дикие олени были вытеснены домашними.

Хищники, и особенно волки, наносят большой ущерб стадам домашних оленей, поэтому повсеместно ведется планомерное их истребление с помощью авиации и с использованием ядохимикатов. Численность волков значительно сократилась в тундрах Европейской части СССР и на севере Западной Сибири.

Конкурентами северных оленей в использовании растительного покрова являются тетеревиные и водоплавающие. Скудный выпас домашних оленей в летний период приводит к stravливанню и вытаптыванию значительной территории, на которой обитают куропатки и гуси. Страдают и гнезда этих птиц. Вместе с тем, в зимний и весенний период выкапывание оленями кормов из-под снега облегчает куропаткам, а в период прилета и гусям, добывание корма.

Картина взаимоотношений между домашними и дикими оленями будет далеко не полной, если не учитывать наличие инфекционных и инвазионных заболеваний. У диких оленей, как и у домашних, встречаются некробактериоз, бронхопневмония, чесотка, подкожно-вошковая инвазия, бруцеллез и даже сибирская язва. Эпизоотологическая обстановка по этим заболеваниям во многом зависит от численности диких оленей, путей их миграции и маршрутов выпаса стад домашних оленей. Такие болезни, как сибирская язва, бруцеллез, чесотка, ящур и др., при их появлении в стадах домашних оленей могут переходить и на некоторые виды диких животных (олени, лоси, волки, песцы). Особенно опасными в этом отношении являются сибирская язва и бруцеллез, так как в отдельных зонах Севера до настоящего времени существуют почвенные и природные очаги этих заболеваний.

Высокая резистентность споровой формы *Bac. antracis* к воздействию внешней среды обуславливает возможность заражения сибирской язвой как диких оленей и лосей, так и некоторых хищных животных на протяжении десятков лет после вспышек этой инфекции в стадах домашних оленей.

Значительная зараженность бруцеллезом стад домашних оленей, как и природные очаги этой инфекции, может стать возбудителем заболеваний в таких крупных популяциях диких животных, как таймырская и якутская. В этой связи исключительно важное значение имеет система профилактических мероприятий по болезням домашних оленей, которая предотвратит переход болезней на диких животных. Только при осуществлении надлежащих мероприятий по охране дикой фауны домашнее оленеводство с каждым годом будет меньше оказывать отрицательных воздействий на животный мир тундры и тайги.

R. P. Shchekunova
(USSR, Norilsk)

THE LICHEN COVER CHANGE CAUSED BY THE HUMAN ACTIVITY AT THE NORTH OF THE YENISEI BASIN

Nowadays many scientists pay attention to the lichens as the part of the plant cover and basic forage reserve in the reindeer husbandry. Forage biomass change depends first of all on the geographical zones and sub-zones which are clearly observed at the North of Yenisei Basin.

The Arctic Wilderness Zone. The zone is of no importance, because there no lichens there, and the green forage supply is extremely low (1,32 metric centner/ha).

The Arctic Tundra Zone. This zone is interesting only as the summer pasture zone reserve because the green forage supply is low (2,88 metric centner/ha).

The sub-zone of North sub-Arctic Tundra. The green forage supply is higher (3,9 metric centner/ha). There are the summer reindeer pastures which are used intensively only by the wild reindeer in this sub-zone.

The sub-zone of the Middle Arctic Tundra. The green forage supply and lichens is higher (4,38 metric centner/ha and 0,61 metric centner/ha, respectively).

There are pastures which are used for the domestic reindeer husbandry in this sub-zone.

The sub-zone of South sub-Arctic Tundra. The green forage supply is maximum of all Taymyr sub-zones (4,99 metric centner/ha) but the lichen supply is 1,58 metric centner/ha. There are the spring and autumn pastures there.

The sub-zone of Extreme North Larch Light Forest (forest-tundra). The green forage supply is almost similar to that of the South sub-Arctic Tundra (4,90 metric centner/ha) but the lichen supply is higher (4,65 metric centner/ha) than at the South Sub-arctic Tundra. This subzone is of great agricultural importance. It is the winter range of the main amount of the reindeer livestock.

The Subzone of the North Taiga Light Forest has the substantial grass and shrub forage supply (4,23 metric centner/ha).

and the maximum lichen supply is 5.94 metric centner/ha. The mount shape is the characteristic feature of this area (600—1500 m above the sea-level). The grass and shrub forage supply (3.75 metric centner/ha), the lichen supply (5.58 metric centner/ha) are characteristic of the mount forests and light forests belts. At the mount tundra belt the forage biomass supply is lower: the green forage is 1.39 metric centner/ha, lichens — 1.75 metric centner/ha. The subzone vegetation is used for the reindeer pasturage all the year round.

The Middle Taiga Forest Subzone. The lichen supply is extremely low and the grass and shrub forage supply is lower than in the north taiga larch forest. The north part of this subzone is used as the reindeer pasture.

The change of the plant cover under the anthropogenic impact at the north of Yenisei basin is connected with the use of the plant cover as the reindeer pastures and with the industrial development rate of the Extreme North regions.

These phenomena cause the density and height lowering of lichens, the lichen falling out from the overground cover that results in impoverishment of the plant composition, lowering of lichen biomass, reduction of lichen association area. The most active process of the plant cover delichenization takes place at the subzones of the middle south subarctic tundra and forest-tundra.

The industrial development of the territories at the Taymyr causes a small reduction of the lichen area (0.2%), though this process is accelerated. Within the last decade 78.4% of the area is used for industrial development. The lichens of *Cladonia* and *Cetraria* which are the basic winter forage for the reindeer were grazed, knocked out, damaged on the area of 1 mln ha or 0.12% of the Taymyr peninsula.

The anthropogenic factor influences on the lichens are substantial around the settlements and north cities in the vicinity of slaughter-houses and on the areas near-corral plots.

The great changes of the plant and overground cover are characteristic of those areas where mechanical transport (tractors and cross-country vehicles) is intensively used. It is associated with both the mechanical influence on the plant and ground cover and the subsequent erosion processes accelerating the soil washing away up to the permafrost and the ravine formation.

As a result of the long mechanical impact the lichens associations are replaced by the sedge-cotton-grass associations.

The most ruinous for the lichen is the fire impact. One of the most important measures for the preservation and reproduction of the lichens directed by the research expedition on the pasture production exploration is the rational pasture utilization that means the correspondence of the grazing system and the rate of stocking with the plant cover composition, the forage biomass supply and lichen reproduction periods.

In order to the plant cover fire prevention the Extreme North Agricultural Research Institute (Norilsk) suggested in 1975 the tundra and taiga aviation control of the Yenisei basin North.

Р. П. Шелкунова
(СССР, Норильск)

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИШАЙНИКОВОГО ПОКРОВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ЕНИСЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

В настоящее время все больше внимание исследователей и практиков привлекает состояние лишайников как составной части растительного покрова и основы кормовой базы оленеводства.

Кормовая фитомасса изменяется прежде всего в зависимости от географических зон и подзон, четко прослеживающихся на Енисейском Севере.

Зона полярных пустынь. Хозяйственного значения не имеет, так как поедаемые оленем лишайники отсутствуют, а запасы зеленых кормов предельно низки (1.32 ц/га).

Подзона арктических тундр. Представляет интерес лишь как резерв летних пастбищ, так как запасы зеленых кормов низки (2.88 ц/га).

Подзона северных субарктических тундр. Запасы зеленых кормов более высокие (3.9 ц/га). В подзоне располагаются летние оленьи пастбища, активно используемые пока лишь дикими оленями.

Подзона средних субарктических тундр. Запасы зеленых и лишайниковых кормов выше, чем в подзоне северных субарктических тундр, и соответственно составляют 4.38 ц/га и 0.61 ц/га. В подзоне расположены пастбища, используемые для оленеводства.

Подзона южных субарктических тундр. Сосредоточены максимальные, из всех подзон Таймыра, запасы зеленых кормов

4.99 ц/га и значительные запасы лишайников (1.58 ц/га). Здесь размещаются весенние и осенние пастбища.

Подзона крайние северных редкостойных лиственничных лесов (лесотундра). Запасы зеленых кормов близки к запасам в подзоне южных субарктических тундр (4.90 ц/га), а запасы лишайников значительно выше (4.65 ц/га). Подзона имеет большое хозяйственное значение. Зимой в ней выпасается основное поголовье оленей.

Подзона северотаежных редкостойных лесов. Характерны значительные запасы травянистых и кустарниковых кормов, составляющие 4.23 ц/га и максимальные запасы лишайников (5.94 ц/га). Подзоне свойствен горный рельеф (600—1500 м над уровнем моря). В поясе горных лесов и редколесий запасы трав и кустарников составляют 3.75 ц/га, а запасы лишайников — 5.58 ц/га. В поясе горных тундр отмечается снижение кормовых запасов фитомассы: зеленые корма не превышают 1.39 ц/га, а лишайниковые — 1.75 ц/га. Растительность подзоны интенсивно используется для выпаса оленей в течение всего года.

Подзона среднетаежных лесов. Запасы лишайников резко снижаются, а запасы травянистых и кустарниковых кормов ниже, чем в подзоне северотаежных лиственничных лесов. В качестве оленьих пастбищ используется преимущественно северная часть подзоны.

Изменения растительного покрова под влиянием антропогенного воздействия на Енисейском Севере связаны как с процессом эксплуатации растительного покрова в качестве оленьих пастбищ, так и с усилением темпов промышленного освоения районов Крайнего Севера. Происходит снижение высоты и густоты лишайников, выпадение их из напочвенного покрова, что обедняет видовой состав растительности, снижает фитомассу лишайников, сокращает площади лишайниковых ассоциаций.

Наиболее активно процесс делихенизации растительного покрова отмечается в подзонах средних и южных субарктических тундр и в лесотундре. Сокращение площади лишайниковых группировок за счет изъятия земель под промышленное освоение на Таймыре незначительное (0.02%), хотя процесс этот ускоряется; 78.4% из использованной для промышленных целей площади падает на последние 10 лет.

Весьма ранимы лишайники при нерациональном использовании тундровой и таежной экосистем в качестве оленьих пастбищ, что прослеживается на профилях, пересекающих подзоны средних и южных субарктических тундр, лесотундру (Западный и Центральный Таймыр).

Площадь, на которой лишайники из родов *Cladonia*, *Cetraria*, представляющие основной зимний корм оленя, стравлены, выбиты, повреждены вследствие перевыпаса, на Таймыре составляет около 1 млн. га или 0.12%. Эта территория в виде полосы простирается в меридиональном направлении.

Весьма подвержены влиянию антропогенных воздействий лишайники вокруг поселков и северных городов, в окрестностях убойных пунктов и на прикоралловых участках.

Более глубокие изменения растительного и почвенного покровов характерны для мест, где применяется механический транспорт (тракторы, вездеходы). Это связано как с механическим воздействием на растительный и почвенный покров, так и с последующими бурными эрозийными процессами, ускоряющими размывание почв до многолетнемерзлых грунтов и образование оврагов.

В результате длительного механического воздействия на лишайники чаще происходит смена их осоково-пушицевыми. Наиболее губительно для лишайников воздействие пожаров.

Делихенизация растительного покрова способствует с одной стороны легкой повреждаемости лишайников механическим воздействием, особенно в сухом состоянии, а с другой стороны — малой годовой прирост растений.

Одним из главных мероприятий, способствующих сохранению и воспроизводству лишайников является систематически проводимое в СССР землеустройство территории оленеводческих хозяйств, направленное на рациональное использование оленьих пастбищ, при котором нагрузка на пастбища и система их стравливания приводится в соответствие с ботаническим составом растительного покрова, запасами кормовой фитомассы и сроками возобновления лишайников.

В целях охраны растительного покрова от пожаров по предложению Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крайнего Севера (г. Норильск) с 1975 г. в тундровой и таежной зонах Енисейского Севера осуществляется авианатрулирование.

V. V. Kryuchkov
(USSR, Moscow)

CAUSES OF TREELESS TUNDRA ZONE

Our research workers have established that for the growth and development of trees and large shrubs in the Subarctic — *Picea obovata*, *Larix sibirica*, *L. dahurica*, *Alnus fruticosa*, *Betula tortuosa*, *Sorbus glabrata* — the daytime air temperature should exceed 10–11° during several hours for 25–30 days in the summer period. If warm days come up to this number during the warm period, then the above plants would have their branches grown, the generative and vegetative buds formed, the shoots lignified and so on. That means that plants complete their vegetation. Comparison of these minimum warmth conditions necessary for the vegetation of trees in the Subarctic with actual warmth conditions at the northern border of sparse growth of trees shows that the real limits of polar sparse growth of trees are considerably further south than their possible warmth limits.

The south treeless belt of tundra where there are warmth conditions for the growth and development of trees, but the associations of trees are absent except for single trees and sparse isolated wood islands, are suggested to be referred to as a belt of relatively treeless tundra. To the north of the belt of relatively treeless tundra trees cannot grow in the open soil because of lack of warmth. This is a belt of absolutely treeless tundra. Numerous causes advanced for explanation of a treeless tundra (winter drying of trees, deficit of seeds, aggressiveness of moss, and bogging up etc.) could relate to the south tundra — the belt of relatively treeless tundra. There is only one cause in the belt of absolutely treeless tundra: lack of warmth for tree growth and development.

The belt of relatively treeless tundra coincides mainly with the subzone of south bushy tundras. This is a potential forest-tundra. The belt of absolutely treeless tundra coincides with the subzones of arctic and typical lichen — moss and shrub tundras. The area of belt of relatively treeless tundra is: 37–40 thou. km² in the Kola region of the Subarctic, 90 thou. km² in the East-European region; 150 thou. km² in the West-Siberian region; 90–100 thou. km² in the Central-Siberian region; 60–70 thou. km² in the East-Siberian region; 35 thou. km² in the Far East; 10–12 thou. km² in Scandinavia; about 2 thou. km² in Iceland; 2.0–2.5 thou. km² in South Greenland; 40–50 thou. km² in Alaska, 300–350 thou. km² in North Canada including Labrador. That means that the belt of relatively treeless tundra in the Subarctic equals 820–920 thou. km².

The studies have shown that under the conditions of permafrost there are three tendencies in the dynamics of the northern boundary of forests. I is degradation and retreat of the northern boundary of sparse growth of trees to the South; II is tendency to the advance of Polar forest boundary towards tundra; III is stationary state.

I. Under the conditions of damp cold climate and low-temperature frozen thickness (minus 3° and lower at the depth of 8 to 10 m, i. e. at the foot of the layer of annual temperature variations) the northern border of forests tends to retreating. Let us examine this process taking West Siberia as an example. The typically flat places s. c. "plakors" of this region generally consisting of boulder loams are characterized by the sparse growth of trees *Larix sibirica* on peat-gley soils. The height of trees is 3 to 6 m, the closing of crowns is 0.2 m. The thickness of moss cover is 4–6 cm. The soils thaw out to the depth of 50–60 cm. The snow cover is 80–100 cm. In these biogeocenoses (elementary ecosystems) under the conditions of damp climate and smoothed relief moss grows intensively. With an increase in moss mass the warming and aeration of soil is impeded, its temperature falls, the layer of season thawing out becomes thinner. At the same time the conditions of plant nutrition become worse since mineral matters are taken from the continuously decreasing volume of soil. Trees and bushes begin perishing. The tree and bush vegetation becomes more sparse, which results in blowing out snow from these areas. Mosses without snow shield (with snow cover depth less than 15–20 cm) die off, the surface of moss-peat layer is broken by frost cracks.

The increasing dryness and snow corrosion complete destroying the moss-peat layer which generally does not exceed here 15–20 cm. Spots of mineral ground appear.

Taking into account the dissociation and small sizes of islands of sparsely growing leaf-bearing trees one can suppose that they would degrade in these landscapes as a result of successions without man's interference. But the interference of man: extra pasture of deers, heavy grazing of vegetation, felling of trees for different needs leads to an intensive growth of the number of derivative biogeocenoses of anthropogenic origin. That means that in the north of West Siberia as a result of self-development of biogeocenoses with the invariable climate leafbearing trees degrade and the polar forest boundary retreats to the south. Thus the belt of relatively treeless tundra extends.

II. The East-European Subarctic is characterized by high temperature, close to 0°. Frozen thickness. Such a state is very unstable. During usual periodic warmings the thickness of season-thawed layer increases, which leads to lowering the waterproof-frozen-horizon and favours greater warming of the upper soil layers, since a part of warmth spent for the evaporation of surplus moisture is spent for warming the soil. All this promotes the catch by wood vegetation of favorable in ground soil respect warm places, which are located near the forest-tundra border or forest islands — sources of seeds. At the places caught by wood vegetation there is accumulated more snow than at the surrounding treeless tundras, which prevents from an intensive winter freezing and promotes the degradation of high-temperature frozen ground under forest islands. Therefore in such biogeocenoses the thickness of thawed layer is not less than 3 m. The frozen ground here is not merging, i. e. the layer of winter freezing is 2.0–2.5 m and is not connected with the upper surface of permafrost grounds situated deeper than 3 m. This is an indication of degrading frozen ground. The catch of tundra areas by wood vegetation results in better microclimate, degradation of frozen ground, i. e. in biogeocenosis landscape succession. During warming new forest islands appear at the border of tundra and forest-tundra and those existing extend.

But in the East-European Subarctic there are observed directly contrary processes as well: growth of moss-peat layer, appearance of frozen ground and its "hardening", death of trees. This occurs at smooth and slightly concave places with clayey and loamy grounds.

The high-temperature frozen ground characterises the Yukon Basin, the south coast of Hudson Bay and other areas of North America. In these regions there was fixed an advance of wood vegetation towards tundra areas (R. Griggs, 1934; J. W. Marr, 1948). R. I. Hansel, D. A. Chant (1971) noted that the growth of fir — tree on new territories took place in the years of best weather conditions — 1888, 1931, 1960.

III. The stationary state of the northern boundary of forests is peculiar to some areas of the Central and East Siberia with their continental climate, comparatively warm summer, more broken relief than in West Siberia. Under these conditions there is not observed such an intensive growth of moss at so called "plakors" as in West Siberia.

At the same time in the whole Subarctic and on all continents — Europe, Asia, North-America — there is fixed an unquestionable retreat of forest boundary as affected by man: fires, felling, extra pasture of deers, industrial press destroying vulnerable ecosystems of the North etc. All this contributes to extending the belt of relatively treeless tundra.

The belt of relatively treeless tundra occupying in the northern hemisphere about one million square kilometres is an arena of future forest land-reclamations which could improve the climate and the gas balance of the atmosphere. But at present it is necessary first of all to stop the retreat of forest border to the south and the extension of the belt of relatively treeless tundra.

V. V. Крючков
(СССР, Москва)

ПРИЧИНЫ БЕЗЛЕСИЯ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ

Нашими исследованиями установлено, что для роста и развития деревьев и крупных кустарников Субарктики — *Picea obovata*, *Larix sibirica*, *L. dahurica*, *Alnus fruticosa*, *Betula tortuosa*, *Sorbus glabrata* — необходимо, чтобы в летний период в течение 25–30 дней дневная температура воздуха на несколько часов превышала 10–11°. Если за теплый период набирается такое количество теплых дней, то у названных растений отрастают ветви, формируются генеративные и вегетативные почки, одревесневают побеги — растения полностью проходят и заканчивают вегетацию. Сопоставление этих тепловых условий, минимально необходимых для вегетации деревьев Субарктики, с реально существующими тепловыми условиями у северной границы редколесий показывает, что действительные границы полярных редколесий находятся значительно южнее их возможных тепловых пределов.

Ожную безлесную полосу тундры, где имеются тепловые условия для роста и развития деревьев, но встречаются лишь единичные деревья и редкие изолированные лесные островки, я предлагаю назвать полосой относительного безлесия тундры. Причинами безлесия этой полосы могут быть зимнее иссушение деревьев, недостаток семян, агрессивность мхов, заболачивание

и т. д. Севернее полосы относительного безлесия находится полоса абсолютного безлесия тундры. Причина абсолютного безлесия тундры одна: недостаток тепла для роста и развития деревьев.

Полоса относительного безлесия тундры совпадает в основном с подзоной южных кустарниковых тундр, то есть это потенциальная лесотундра. Полоса абсолютного безлесия тундры совпадает с подзонами арктических и типичных — лишайниково-моховых и кустарничково-моховых тундр. Площадь полосы относительного безлесия следующая: в Кольском секторе Субарктики — 37—40 тыс. км²; Восточно-Европейском — 90 тыс. км²; Западно-Сибирском — 150 тыс. км²; Средне-Сибирском — 90—100 тыс. км²; Восточно-Сибирском — 60—70 тыс. км²; Дальневосточном — 35 тыс. км²; в Скандинавии — 10—12 тыс. км²; в Исландии — около 2 тыс. км²; в южной Гренландии — 2,0—2,5 тыс. км²; на Аляске — 40—50 тыс. км²; в северной Канаде, включая Лабрадор, — 300—350 тыс. км². Таким образом, полоса относительного безлесия тундры в Субарктике равняется 820—920 тыс. км².

Исследованиями установлено, что в условиях вечной мерзлоты имеются три тенденции в динамике северной границы лесов: I — деградация и отступление на юг северной границы редколесий; II — тенденция к наступанию на тундру полярной границы лесов; III — стационарное состояние.

I. В условиях влажного холодного климата и низкотемпературной мерзлой толщ (минус 3° и ниже на глубине 8—10 м, то есть на подошве слоя годовых колебаний температур) северная граница лесов имеет тенденцию к отступанию. Рассмотрим этот процесс на примере Западной Сибири. Для плакоров этого региона, сложенных обычно валунистыми суглинками, свойственны редколесья из *Larix sibirica* на торфянисто-глиняных почвах. Высота деревьев 3—6 м, сомкнутость крон 0,2. Толщина мохового покрова 4—6 см. Почвы оттаивают на 50—60 см. Высота снежного покрова 80—100 см. В этих биогеоценозах (элементарных экосистемах) в условиях влажного климата и выровненного рельефа идет интенсивное нарастание мхов. С увеличением массы мхов затрудняется прогревание и аэрация почвы, понижается ее температура, уменьшается слой сезонного протаивания. Одновременно ухудшаются условия питания растений, так как минеральные вещества черпаются из непрерывно уменьшающегося объема почвы. Начинают гибнуть деревья и кустарники. Древесно-кустарниковая растительность становится разреженной, что ведет к сметанию снега с таких участков. Мхи, лишайники снеговой защиты (при мощности снега меньше 15—20 см), отмирают, поверхность мохово-торфянистого слоя разбивается морозобойными трещинами. Дальнейшее увеличение сухости, а также снеговая коррозия окончательно разрушают мохово-торфянистый слой, который обычно не превышает здесь 15—20 см. Появляются пятна минерального грунта.

Учитывая разобщенность и небольшие размеры островков лиственных редколесий, можно предположить, что и без вмешательства человека они бы деградировали в этих ландшафтах в результате сукцессий. Но вмешательство человека (перевыпас оленей, выживание растительности, вырубки деревьев на различные нужды) ведет к интенсивному росту количества произведенных биогеоценозов антропогенного происхождения. Это значит, что на севере Западной Сибири вследствие саморазвития биогеоценозов при неизменном климате идет деградация лиственных редколесий и отступление полярной границы лесов на юг. В результате растет полоса относительного безлесия тундры.

II. Для Восточно-Европейской Субарктики свойственна высокотемпературная, близкая к 0°, мерзлая толща. Подобное состояние очень неустойчиво. Во время обычных периодических потеплений возрастает мощность сезонно-талого слоя, что ведет к понижению водоупорного — мерзлого — горизонта и благоприятствует большему прогреванию верхних слоев почвы, так как часть тепла, уходившая раньше на испарение избыточной влаги, расходуется теперь на прогревание почвы. Все это способствует захвату древесной растительностью благоприятных в почвенно-грунтовой обстановке теплых участков, которые расположены недалеко от границы лесотундры или от лесных островков — источников семян. На участках, захваченных древесной растительностью, накапливается больше снега, чем на окружающих безлесных тундрах, что препятствует интенсивному зимнему промерзанию и способствует деградации высокотемпературной мерзлоты под лесными островками. Поэтому в таких биогеоценозах мощность талого слоя бывает не меньше 3 м. Слой мерзлоты здесь не сливаются, то есть слой зимнего промерзания (2,0—2,5 м) не соединяется с верхней поверхностью многолетнемерзлых грунтов, расположенной глубже 3 м. Это признак деградирующей мерзлоты. Захват древесной растительностью тундровых участков ведет к улучшению микроклимата, деградации мерзлоты, то есть к биогеоценозической, ландшафтной сукцессии. При потеплении возникают новые лесные островки на границе тундры и лесотундры и расширяются естественные.

Но в Восточно-Европейской Субарктике наблюдаются и прямо противоположные процессы — нарастание мохово-торфянистого слоя, возникновение мерзлоты и ее «жесточение», гибель деревьев. Это происходит на ровных или слегка волнистых участках с глинистыми и суглинистыми грунтами.

Высокотемпературная мерзлая толща свойственна бассейну Юкона, южному побережью Гудзонова залива и другим районам Северной Америки. В этих районах было зафиксировано продвижение древесной растительности на тундровые участки (R. Griggs, 1934; J. W. Marr, 1948; R. I. Hansel, D. A. Chanl, 1971). Отмечалось, что внедрение ели на новые участки происходило в годы с наилучшими погодными условиями — 1888, 1931, 1960.

III. Стационарное состояние северной границы лесов свойственно некоторым районам Средней и Восточной Сибири с их континентальным климатом, сравнительно теплым летом, более пересеченным, чем в Западной Сибири, рельефом. В этих условиях на плакорах не наблюдается такого интенсивного нарастания мхов, как в Западной Сибири.

Вместе с тем, во всей Субарктике на всех континентах — в Европе, Азии, Северной Америке — зафиксировано бесспорное отступление границы лесов под воздействием человека: пожары, вырубки, перевыпас оленей, промышленно-индустриальный пресс, разрушающий уязвимые экосистемы Севера и т. д. Все это способствует расширению полосы относительного безлесия тундры.

Полоса относительного безлесия тундры, занимающая в северном полушарии около миллиона квадратных километров, — это арена будущих лесомелiorаций, которые могут улучшить климат и газовый баланс атмосферы.

P. I. Melnikov, V. T. Balabayev
(USSR, Yakutsk)

PERMAFROST AT THE TERRITORY OF THE USSR

In the Soviet Union, permafrost (cryolitozone) is found to occupy 11 million km², which is slightly less than half this country's territory. The fact that permafrost is found to high latitudes shows that a decisive role radiation-climatic factors play in permafrost formation. Negative mean annual temperature of surface rock layers is a necessary condition for long-term permafrost to exist. Its value, apart from climatic factors, is determined by geographical and geological features of the territory.

At present, permafrost regions are characterized by radiation balance values being less than 25—30 kcal/cm² per year.

From the South to the North, radiation balance decreases to 8 kcal/cm² per year, thus resulting in temperature fall both of the air and rocks.

The lowest temperature of rocks is observed along the Asian coast of the Arctic Ocean, reaching —12,0—14,0°C. Horizontal temperature gradient of frozen ground along 110° E is 0,8°C per 1° of the latitude.

Air temperature and temperature of rocks are affected, to a great extent, by dynamic processes in the atmosphere. The latter are responsible for changes in temperature from the West to the East. This becomes apparent, particularly, in the cold period of the year. The warm Atlantic affects the whole European North and Western Siberia, increasing rocks temperature at the Arctic circle latitude up to 0 — +1,0°C. Quite the reverse, high pressure zone observed during winter over the whole territory of the Eastern Siberia makes it next to impossible for warmer air masses to enter this region; therefore, temperature here is found to be the lowest. At the same latitude of the Arctic circle, mean rocks temperature falls to —7 — —9°C.

Peculiarities of atmospheric circulation are connected with precipitation of which snow is of particular importance. In a zone of relatively active cyclonic activity, a 10 cm snow layer increases mean annual rocks temperature by 1,0—1,5°C, in the continental zone by 1,5—3,0°C. Thanks to thick snow cover in permafrost regions there exist vast areas where anomaly high temperature is observed. These areas are as follows: Yenisei River valley; western slopes of Verkhoyanski Ridge and Lena River valley; Kolymskaya lowland; and the Pacific coast. Quite the reverse, negative temperature of rocks at low elements of the relief in Zabaikalie and Mongolia is associated with small depth of snow cover (1—10 cm).

And finally, temperature of rocks depends on their properties, structure and composition.

The value of negative temperature defines, to some extent, the depth of frozen zone, with all other conditions being equal. There are other important factors determining long-term rock freezing

depth; these are: intraterrestrial heat stream; lithological composition of frozen zone; and palaeogeothermal regime.

The least value of intraterrestrial heat stream in permafrost zone of the USSR ($0,010-0,015 \text{ kkal/cm}^2$ per year) is observed in the central part of the East-Siberian platform. In this region, most ancient saline sedimentary rocks of high heat conductivity are found to come up to the surface. This is a zone of the deepest negative temperature ($1000-1500 \text{ m}$), with temperature of frozen rocks being $-5-7^\circ\text{C}$. The largest value of intraterrestrial heat stream is observed in tectonically active modern mountainous regions (Verkhoiansko-Kolymskaya plicated area). In the Suntar-Khayata Ridge, this value amounts to $0,080 \text{ kkal/cm}^2$ per year. Due to this, an average depth of frozen layer comes to 270 m , with the temperature being $-7,0^\circ\text{C}$. For the greater part of the permafrost zone, a heat stream value is $0,035-0,055 \text{ kkal/cm}^2$ per year. Rocks of poor conductivity as well as those with large heat streams therein have the least depth of freezing. The impact of intraterrestrial heat stream is best seen in mountainous regions. Under conditions of high-altitude isothermality, redistribution of heat streams, influenced by the relief, stipulate high temperature of mountainous rocks under valleys, whereas the least temperature is observed under tops of hills.

As processes of deep freezing and melting in rocks are very slow, as compared with climatic fluctuations, the depth of frozen zone is sometimes found to be anomaly great and does not correspond to existing thermal conditions. The regions in question are as follows: West Siberia; Vilyuiskaya and Khatangskaya sineclises; a number of lowlands in Chukotka etc. This fact was caused, to a great extent, by a cold epoch of the past. At present, the depth of frozen layer degrades at a rate of $1,0-2,0 \text{ m}$ every 100 years. Therefore we can still find frozen layers $100-400 \text{ m}$ thick, with temperature near the surface being 0°C or even above zero.

The impact of geological-geotectonic and palaeogeothermal factors is so great that the thickness of frozen layers may become aazonal. Under severe conditions of the extreme North, this thickness is found to be less than that near the southern boundary of frozen ground, by 2-3 orders of magnitude.

Contemporary data show that permafrost originated several hundred thousands of years ago. Since then, temperature and depth of permafrost repeatedly changed. At present, the depth of permafrost is found to be decreasing due to intraterrestrial heat. Thus, the contemporary epoch is warmer than the previous one. During the last 20 000 years, the temperature of frozen ground was increasing by $0,4-0,8^\circ\text{C}$ every 1000 years, the total increase now being $8-13^\circ\text{C}$.

П. И. Мельников, В. Т. Балабаев
(СССР, Якутск)

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА НА ТЕРРИТОРИИ СССР

В СССР вечная мерзлота (криолитозона) занимает около 11 млн. км², что составляет немного, менее половины его территории. Ее приуроченность к высоким широтам отчетливо свидетельствует о решающей роли в формировании радиационно-климатических факторов. Необходимым условием длительного существования мерзлых пород является отрицательная средняя годовая температура поверхностного слоя горных пород. Ее значение, кроме климатических факторов, определяется географическими и геологическими особенностями территории.

В настоящее время криолитозона характеризуется значительным радиационным балансом меньшими $25-30 \text{ kkal/cm}^2$ год.

С юга на север радиационный баланс уменьшается примерно до 8 kkal/cm^2 год, вызывая соответствующее понижение температуры и горных пород. Самая низкая температура горных пород фиксируется на азиатском побережье Северного Ледовитого океана, достигая здесь $-12,0, -14,0^\circ\text{C}$. Горизонтальный градиент температуры мерзлых пород по 110° в. д. равен $0,8^\circ\text{C}$ на 1° широты.

Огромное влияние на температуру воздуха и горных пород оказывают динамические процессы в атмосфере. Они служат основной причиной изменения этих температур с запада на восток. Особенно это проявляется в холодный период года. Мощное влияние теплой Атлантики распространяется на весь Европейский Север и Западную Сибирь, повышая температуру горных пород на широте Полярного круга до $0,0-+1,0^\circ\text{C}$. Наоборот, область высокого давления зимой, простирающаяся над всей Восточной Сибирью, почти исключает проникновение сюда более теплых воздушных масс и является наиболее холодной. На той же широте Полярного круга средняя температура горных пород понижается до $-7, -9^\circ\text{C}$.

Одной из особенностей циркуляции атмосферы являются осадки, из которых особую роль играет снежный покров. Каждые 10 см снега увеличивают среднюю годовую температуру горных пород на $1,0-1,5^\circ\text{C}$ в зоне относительно активной циклонической деятельности и на $1,5-3,0^\circ\text{C}$ в континентальной зоне. Благодаря мощному снежному покрову в области вечной мерзлоты существуют обширные зоны аномально высоких температур. Это долина р. Енисея и прилегающие к ней низменные районы, западные склоны Верхоянского хребта и прилегающая долина р. Лены, Колымская низменность и побережье Тихого океана. Наоборот, существование отрицательных температур горных пород на низких элементах рельефа в Забайкалье и Монголии преимущественно связано с очень малой высотой снежного покрова ($1-10 \text{ см}$).

Наконец, температура горных пород зависит от их свойств, строения и состава.

Величина отрицательной температуры в какой-то степени определяет и мощность мерзлой зоны. Другими важнейшими факторами, определяющими глубину многолетнего промерзания горных пород, являются тепловой поток из недр земли, литологический состав мерзлой зоны и палеогеотермический режим.

Внутренний тепловой поток в области криолитозоны СССР наименьшее значение ($0,010-0,015 \text{ kkal/cm}^2$ год) имеет в центральной части Восточно-Сибирской платформы, где на поверхность выходят наиболее древние соленосные осадочные породы, обладающие к тому же высокими теплопроводными свойствами. Здесь наблюдается наиболее глубокая зона отрицательных температур, достигающая $1000-1500 \text{ м}$ при температуре мерзлых пород $-5, -7^\circ\text{C}$. Наибольшее значение внутреннего теплового потока присуще современным тектонически активным горным областям (Верхоянско-Колымская складчатая область). В хребте Сунтар-Хаята она достигает $0,080 \text{ kkal/cm}^2$ год, благодаря чему здесь средняя мощность мерзлой толщи равна 270 м при температуре $-7,0^\circ\text{C}$. На большей части территории криолитозоны тепловой поток равен $0,035-0,055 \text{ kkal/cm}^2$ год. Наименьшая мощность мерзлых пород формируется в слабо теплопроводных породах и при больших тепловых потоках в них. Наиболее отчетливо влияние внутреннего теплового потока проявляется в горных областях, где в условиях высотной изотермии перераспределение его под влиянием рельефа обуславливает высокие температуры горных пород под днищами долин и наименьшие — под вершинами.

Процессы глубокого промерзания и протавивания горных пород очень инерционны по сравнению с изменением климатических условий. Поэтому в ряде районов, сложенных слабо сцементированными осадками, таких, как Западная Сибирь, Вилуйская и Хатангская синеклизы, ряд низменностей Чукотки и др., мощность мерзлой зоны аномально велика и не соответствует современным тепловым условиям. В значительной степени она является продуктом прошлой холодной эпохи и в настоящее время деградирует со скоростью $1,0-2,0 \text{ м}$ за 100 лет. Благодаря этому мы встречаемся с фактом существования $100-400$ -метровых мерзлых толщ, имеющих температуру 0°C или даже положительную вблизи поверхности.

Влияние геолого-геотектонических и палеогеотермических факторов проявляется настолько сильно, что мощность мерзлых толщ становится аazonальной. На Крайнем Севере в наиболее суровых тепловых условиях она может быть в 2-3 раза меньше, чем вблизи южной границы развития мерзлоты.

По современным данным вечная мерзлота возникла несколько сотен тысяч лет назад. В последующем она изменяла свою температуру и мощность неоднократно, а местами деградировала полностью. В наше время ее мощность уменьшается под влиянием внутреннего тепла земли, свидетельствуя о более теплой современной эпохе по сравнению с предыдущей. В среднем интенсивность потепления мерзлоты за последние 20 000 лет составляла $0,4-0,8^\circ\text{C}$ за 1000 лет, а общее повышение температуры мерзлых пород за это время достигло $8-13^\circ\text{C}$.

N. A. Shpolyanskaya
(USSR, Moscow)

THE STUDY OF TENDENCIES IN PERMAFROST DEVELOPMENT BY THE ANALYSIS OF TEMPERATURE FIELD OF THE ROCKS

The expanding exploitation of natural resources in the North and East of the USSR brings the investigators' attention to the problem of permafrost prediction in vast areas. Clearing up of

natural tendencies of permafrost development must be an important part of such a prediction since these tendencies predetermine to a considerable degree the results of human activity influence on permafrost.

When clearing up the tendencies one should pay special attention to the temperature field of rocks, i. e., the result of all physics/geography and geologic conditions interaction and to the cause of one or another frozen environment.

The study of temperature field must be built on two bases. The first is studying modern temperature field and clearing up of its development tendencies. In that case an important information can be given by: 1) analyses of thermal balance structure of the earth surface as modern upper-boundary conditions, 2) analyses of rock temperature field under permafrost as modern lower boundary conditions, 3) analyses of temperature field character in permafrost. The second is the study of rock temperature field dynamically in Pleistocene. In this case decisive role belongs to analyses of the main rock temperature factors' course through time. The analyses is aimed at clearing up of possible rhythm and periodicity in these factors changing as well as future development extrapolation of the factors proper and the temperature field caused by them.

An effort of the planned program realization has been made. West Siberia is taken as an example.

1. The study of modern rock temperature field. 1. Analyses of upper boundary conditions.

Heat exchange between ground and atmosphere cause certain heat flow (B) through the ground surface which in its turn form ground temperature at the upper levels of permafrost. The calculation of annual surface heat balance for 46 points in permafrost areas of West Siberia makes it possible to outline three regions (from the North to the South): arctic region which is situated in the very North in tundra and is roughly limited by 67–68° N. L. from the South; here the heat flow quantity during the cold part of the year exceed the quantity during the warm part of the year (B_+), i. e. $B_+ > B_-$ and consequently the rocks continue cooling; subarctic region stretched in the form of comparatively narrow line along the polar circle; it includes south (underbrush) tundra and forest tundra where $B_+ \approx B_-$, i. e. the ground temperature field is comparatively stable; Boreal region which occupies the rest of the region (the taiga part) where $B_+ < B_-$, i. e. permafrost degrades.

2. Analyses of lower boundary conditions has shown that they play a subordinate role in the dynamics of permafrost.

3. Analyses of temperature field in permafrost and heat flow correlation at the bottom of permafrost at both sides of the boundary between frozen (q_m) and thawed rocks (q_+) shows the same three regions with similar tendency of permafrost development as in the point 1.

II. The study of temperature field dynamics in Pleistocene. According to the modern view climate and landscape changes through time are characterized by periodic variations. Because of the fact that temperature field is a result of such variations influence with different period and amplitude the analyses of all existing types of variations would be the most interesting. The variations penetrate to different depth (depending on period and amplitude) and influence the rock temperature differently. Unfortunately, there is a great number of view on the causes of natural processes periodicity and even on presence of stable cycles in them; this prevents the analyses of the regions influence on the rocks temperature dynamics. At present it seems possible to analyse firstly periods with variations of thousand and tens of thousands years that mainly influence on permafrost temperature field on the whole (these periods are ear-marked by the investigators in Pleistocene) and secondly periods with variations of ten years which influence the upper layers of rocks and particularly important for practice.

1. Analyses of variations with periods of thousand and tens of thousands years. Modelling on the basis of West Siberia climate and landscape changes succession proposed by modern paleogeography has shown permafrost temperature field come to conformity to the changed climate for 10 000–15 000 years. It means firstly that almost all West Siberia (except fluvial plains and ladas whose age is less than 15 000 years Q_4) is composed of frozen rocks with their maximum depth, and so the change of depth and temperature field will take place only following the new climate changes. Secondly it means that so called relict permafrost existing isolatedly in the boreal zone in some depth is preserved only because of the fact that less than 10 000 years passed since Holocene thermic maximum (when permafrost thawing began) and that it's the limit of permafrost existence.

2. Analyses of centenary climate variations made it possible in west Siberia to clear up of a number of regions differed by stage and direction of climate changes expected to the end of the century and the following change of frozen rocks: appreciable rock temperature decrease may take place in tundra and forest tundra; in forest zone the ground temperature will not change practically.

The proposed method of permafrost development tendencies is of a common character and can be used for any other region of permafrost area. The results of the prediction may be applied practically. In particular we have used such a prediction for appraisal of some probable consequences of planned drain transfer of the river Ob to the South regions.

Н. А. Шолянская
(СССР, Москва)

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Освоение природных ресурсов на севере и востоке СССР ставит перед исследователями проблему прогноза поведения вечной мерзлоты на широких пространствах. Важным звеном такого прогноза должно быть выявление тенденций естественного развития вечной мерзлоты, предопределяющих, в значительной мере, результаты воздействия на нее антропогенных факторов.

Основным в исследовании состояния вечной мерзлоты должно быть температурное поле горных пород — результат взаимодействия всего комплекса физико-географических и геологических условий и одновременно причина той или иной мерзлотной обстановки.

Исследование температурного поля должно строиться на двух основах. Во-первых, на исследовании современного температурного поля и выявлении в нем определенных тенденций развития. Большую информацию дает анализ структуры теплового баланса поверхности Земли как современных верхних граничных условий; анализ температурного поля горных пород ниже вечной мерзлоты как современных нижних граничных условий; анализ характера температурного поля в самой мерзлой толще. Во-вторых, на изучении температурного поля горных пород в его динамике в плейстоцене. Решающую роль при этом играет анализ временного хода главных факторов, формирующих температуру горных пород, имеющий целью выявление возможных ритмов и периодичности в изменении этих факторов и экстраполяция в развитии как их самих, так и обусловленного ими температурного поля.

Была сделана попытка осуществить намеченную программу в Западной Сибири.

Исследование современного температурного поля горных пород. 1. Анализ верхних граничных условий. Теплообмен между грунтом и атмосферой обуславливает определенный тепловой поток (B) через поверхность грунта, формирующий, в свою очередь, температуру грунта в верхних горизонтах мерзлой толщ. Расчет годового теплового баланса поверхности для 46 пунктов области распространения вечной мерзлоты в Западной Сибири позволяет выделить (с севера на юг) три области: арктическую, расположенную на самом севере, в пределах зоны тундр, и ограниченную с юга примерно 67–68° с. ш., где величина теплового потока за холодную половину года (B_+) превышает величину теплового потока за теплую половину года (B_-), т. е. $B_+ > B_-$, где, следовательно, горные породы продолжают охлаждаться; субарктическую, вытянутую сравнительно узкой полосой вдоль Полярного круга, охватывающую южную (кустарниковую) тундру и лесотундру, где $B_+ \approx B_-$, т. е. температурное поле грунтов относительно стационарно; boreальную, занимающую таежную часть региона, где $B_+ < B_-$, т. е. вечная мерзлота деградирует.

2. Анализ нижних граничных условий показал, что в динамике вечной мерзлоты они играют подчиненную роль.

3. Анализ температурного поля в мерзлой толще и соотношения тепловых потоков у подошвы мерзлоты по обе стороны границы раздела между мерзлыми (q_m) и талыми (q_+) породами позволяет выявить те же три области с той же тенденцией развития вечной мерзлоты.

Исследование динамики температурного поля в плейстоцене. Временные изменения климата и ландшафта по современным представлениям имеют характер периодических колебаний. Поскольку температурное поле мерзлых пород является результатом суммарного воздействия колебаний разного периода и разной амплитуды, то наибольший интерес представлял бы анализ всех существующих типов колебаний, проникающих на различную (в зависимости от периода и амплитуды) глубину и по-разному воздействующих на температуру пород. К сожалению, по поводу причин периодичности природных процессов и даже наличия в них устойчивых циклов постоянной длительности существует много разноречивых мнений, что затрудняет анализ влияния этих ритмов на динамику температуры горных пород.

В настоящее время возможен анализ колебаний, во-первых, с периодом в тысячи и десятки тысяч лет, выделяемых исследователями в плейстоцене и оказывающих первостепенное воздействие на температурное поле всей толщи вечной мерзлоты, и, во-вторых, с периодом в десятки лет, проникающих в верхние слои пород и особенно важных для практики.

1. Анализ колебаний с периодами в тысячи и десятки тысяч лет. Моделирование многолетнего промерзания горных пород на БЭСМ-6, в основу которого была положена последовательность в изменении климата и ландшафта Западной Сибири, предлагаемая современной палеогеографией, показало, что температурное поле в пределах мерзлой толщи горных пород приходит в соответствие с изменившимся климатом за 10–15 лет. Это значит, во-первых, что почти вся территория Западной Сибири (за исключением речных пойм и морских лагун, возраст которых менее 15 тыс. лет — Q_4) сложена мерзлыми породами, достигшими своей максимальной мощности, и дальнейшее изменение последней, так же как и изменение температурного поля, будет происходить только вслед за новым изменением климата. Это значит, во-вторых, что так называемая реликтовая мерзлота, существующая в бореальной зоне изолированно на некоторой глубине, сохраняется только потому, что со времени голоценового термического максимума (когда началось протавивание вечной мерзлоты) прошло менее 10 тыс. лет, и что она находится на пределе своего существования.

2. Анализ вековых колебаний климата позволил выделить на территории Западной Сибири ряд районов, различных по степени и направленности ожидаемого к концу столетия изменения климата, а вслед за ним и температуры мерзлых пород; заметное понижение температуры горных пород произойдет, по-видимому, в тундровой и лесотундровой зонах региона, а в лесной зоне температура грунта практически не изменится.

Предлагаемый метод выявления тенденций развития вечной мерзлоты носит достаточно общий характер и может быть применен для любой области распространения вечной мерзлоты. Результаты прогноза могут быть использованы при решении прикладных проблем. В частности, такой прогноз был использован нами для оценки некоторых вероятных последствий планируемой переброски стока Оби в южные районы.

V. A. Kudryavtsev, L. S. Garagulya, L. M. Maximova
(USSR, Moscow)

BASIC PROPOSITIONS FOR SCIENTIFIC PREDICTION OF ANTHROPOGENIC ACTION AND IMPROVEMENTS OF THE ENVIRONMENT IN PERMAFROST REGIONS

In the age of technological revolution, man's impact on the environment has increased to such a degree that there is a danger of irreversible changes deteriorating living conditions on the earth.

For this reason, efforts of researchers are nowadays aimed at developing a technique for determining the degree of effect of different forms of man's industrial activities on the environment and a technique for controlling natural processes. This is done with a view to maintaining favourable ecological conditions. In addition, methods are currently under way for observation on the evolution and alteration of landscape, seas, rivers, etc.

In this report the mentioned methodical problems are considered conformably to engineering geology in permafrost regions.

In thermodynamic respect frozen rocks are relatively unsteady, since under the existing heat exchange conditions on the earth's surface abrupt temperature variations are the case on the surface for a year or many years. This leads to seasonal or perennial freezing and thawing of basement rocks over vast regions. Upon a change in rocks' state, considerable variations in their properties are observed attended by the development of specific cryogenic-geological processes which are a powerful geological and geomorphological factor affecting the earth's landscape. These processes are the following: thermokarst, heaving and rocks' sediments, their frost fracturing, solifluction, thermoorosion, formation of an icing, etc. Related to these processes is the formation of deposits with definite structure and composition as, for instance, syngenetic permafrost with wedge-vein ice, solifluction deposits with buried soil and firns. The formation of specific relief forms, such as alases, pingos, cemetery mounds, relief with low-centre polygons, etc are also connected with these processes.

The rate of the processes and their manifestation under natural conditions depend on the dynamics of the natural factors. Temperature and moisture conditions of deposits and sedimentation rate are subject to these factors which are as follows:

1. Radiation-heat balance of the surface.
2. Climate and microclimate.
3. Different natural covers (snow, vegetation, water).
4. Geomorphological structure.
5. Composition and properties of rocks in a layer of annual temperature fluctuations.
6. Regime of surface water, ground water and suprapermfrost water.

The natural dynamics of the aforementioned factors is notable for a high amplitude of changeability within a short space of time. They also undergo considerable variations upon man's industrial activities. For this reason, evaluation of their effect on temperature and moisture conditions of deposits, as well as predicting a change in this effect are one of the components of the general prediction as to the environmental alteration. It is the initial stage for predicting the evolution of cryogenic processes.

At the Permafrost Studies Chair of the Moscow State University, the principles of geocryological prediction have recently been developed, which enables one to assess the dynamics of cryogenic and engineering-geological conditions both in connection with a change in natural factors and under the effect of different structures. Yet for tackling a problem on the environmental protection these data are not enough. Following the methods available, it is necessary to work out a complex technique for a long-term prediction of all changes in the environment over vast territories where wide-scale industrial development is carried out. It is essential to compile maps for predicting changes in the environment under the combined influence of various construction types and land-tenure forms. On the basis of this map alone, one can develop a plan of arrangements for controlling unfavourable processes caused by industrial activities.

The problem of controlling various natural processes is complicated due to diversified relationships of the processes and phenomena. It is therefore solved in terms of a thorough investigation into the regularities of the natural landscapes evolution in history and the related geocryological conditions. This is attained only by conducting a complex geocryological engineering-geological survey and analysis of the evidence available through different paleoreconstructions. Making on this basis of models of natural and natural-engineering systems and solving problems peculiar to the systems performance in the future would provide the required information for working out principles of controlling the natural processes and the environmental protection.

The most efficient techniques for observing the environmental changes are radiophysical aeromethods and space survey.

In conclusion, a diagram is suggested as to the principal investigation types which are essential for arranging a service on the environmental protection.

В. А. Кудрявцев, Л. С. Гарагуля, Л. Н. Максимова
(СССР, Москва)

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАУЧНОГО ПРОГНОЗА АНТРОПОГЕНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

В эпоху научно-технической революции воздействие человека на природу стало настолько значительным, что возникла опасность необратимых преобразований, ухудшающих условия жизни на земле.

Поэтому в настоящее время усилия исследователей направлены на разработку методики определения степени влияния различных видов хозяйственной деятельности человека на окружающую среду, методики управления природными процессами с целью сохранения благоприятных экологических условий и методики наблюдения за развитием и преобразованием ландшафтов, морей, рек и т. д.

В данном докладе указанные методические вопросы рассматриваются применительно к инженерно-геологической среде в области распространения вечной мерзлоты.

Мерзлые горные породы в термодинамическом отношении являются сравнительно неустойчивыми, так как при существующих условиях теплообмена на поверхности земли происходит смена знака температуры как в годовом, так и в многолетнем плане, что приводит к сезонному или многолетнему промерзанию или оттаиванию подстилающих пород на значительных территориях. При изменении состояния пород наблюдается существенное изменение их свойств, сопровождающееся развитием специфических мерзлотно-геологических процессов, которые являются мощным геологическим и геоморфологическим фактором, преобразующим ландшафт земли. К таким процессам относятся термокаст, пучение и осадки пород, их морозобойное растрескивание, солифлюкция и термоэрозия, наледообразование и др. С этими процессами связано образование отложений определенного строения и состава, например, сингенетические мерзлые толщи с клиновидножильными льдами, солифлюкционные отложения с погребенными почвами и снежниками и др., а также специфичных форм рельефа (например, аласы, булгунихи, байджеяхи, полигонально-валиковый рельеф и т. д.).

Скорость процессов и размеры их проявления в естественных условиях определяются динамикой природных факторов, от которых зависит температурный и влажностный режим отложений, скорость осадконакопления. К этим факторам относятся:

- 1) радиационно-тепловой баланс поверхности;
- 2) климат и микроклимат;
- 3) различные естественные покровы (снежный, растительный, водный);
- 4) геоморфологическое строение;
- 5) состав и свойства пород в слое годовых колебаний температуры;
- 6) режим поверхностных, грунтовых и надмерзлотных вод.

Естественная динамика указанных факторов отличается большой амплитудой изменчивости в короткие периоды времени. Эти же факторы подвергаются существенному изменению при хозяйственной деятельности человека. Поэтому оценка их влияния на температурный и влажностный режим отложений, скорость накопления или переработки и перестроения, а также прогноз изменения этого влияния является одной из составных частей общего прогноза преобразования природной среды, и начальным этапом для прогнозирования развития мерзлотно-геологических процессов.

В настоящее время на кафедре мерзлотоведения МГУ разработаны основы геокриологического прогнозирования, что позволяет оценить динамику мерзлотно-инженерно-геологических условий как в связи с изменением природных факторов, так и под влиянием различных сооружений. Однако для решения проблемы по охране природной среды этих данных недостаточно. Необходимо на базе существующих разработок создать комплексную методику долгосрочного прогнозирования всесторонних изменений природной среды на больших пространствах, где ведется широкое хозяйственное освоение территорий. Необходимо составить карты прогноза изменений природной среды на такие территории. Только на основе таких карт можно разработать план мероприятий по управлению неблагоприятными процессами, вызванными хозяйственной деятельностью.

Проблема управления различными природными процессами весьма сложна из-за многосторонних связей между процессами и явлениями. Ее можно решить путем всестороннего изучения закономерностей развития природных ландшафтов и связанных с ними геокриологических условий в историческом аспекте на основе материалов комплексной мерзлотной инженерно-геологической съемки и анализа полученных данных с помощью различных палеорекопий. Построение на этой основе моделей природных и природно-технических систем, а также решение задач, характеризующих работу этих систем, в будущем дадут необходимые материалы для разработки принципов управления природными процессами и охраны окружающей среды.

Наиболее эффективными методами наблюдения за преобразованием природной среды являются радиофизические методы и космическая съемка.

V. A. Kudryavtsev, V. G. Melamed
(USSR, Moscow)

THE CHARACTERISTICS OF SIMULATING NATURAL AND NATURAL-ENGINEERING SYSTEMS IN PERMAFROST REGIONS

The features of industrial development of different regions are to a considerable extent predetermined by natural conditions. In this respect of great importance are geological structure, geomorphology and climatic conditions, as well as all the other features of a landscape complex. In permafrost regions, geocryological conditions are one of the decisive factors of the phenomenon. The nature and peculiarities of permafrost distribution and of cryogenic processes occurring in them are frequently responsible for the principles and methods of industrial development in vast permafrost regions.

Of the whole natural conditions complex, geocryological conditions are particularly distinguished by the two basic features. First and foremost, they are very dynamic in time. The second feature of geocryological conditions is the presence of phase transitions affecting considerably the dynamics and character of geocryological conditions both for natural and natural-engineering systems. A mathematical simulation of geocryological and engineering-geological processes and phenomena in permafrost regions should therefore be performed with due regard for all these features.

Of particular importance is also the intimate relationship between the geocryological conditions and the whole natural conditions complex. Each factor of this complex (character and composition of rocks and their properties, relief peculiarities, hydrogeological conditions, climatic zonation, soil-geobotanical features, etc.) is responsible for the regularities of the formation of perennial and seasonal frozen rocks.

It follows that a mathematical simulation of natural and natural-engineering systems may be regarded only in terms of the general regularities of the formation and evolution of the geocryological conditions as a component of the natural and natural-engineering systems. Here comes the necessity of using the evidence of geocryological surveys as a basis for the mathematical simulation.

The geocryological processes are the processes whose physical essence has been studied and developed properly in a theory of heat and mass transfer in capillary-pore media. Therefore the mathematical simulation of these processes is mostly performed by determinate methods based on the solution of corresponding problems of mathematical physics. It is reasonable to apply statistical methods, primarily in processing geocryological survey data peculiar to both the specificity of natural and natural-engineering systems and geocryological conditions, changing within the wide range over vast regions under investigation.

Successful application of the mathematical simulation is dependent on the choice of design diagrams and differential equation systems representing in full measure the nature of the processes. It has been mentioned that in permafrost regions the formation and evolution of geocryological processes are expressed by an equation system of heat and water exchange in capillary-pore media with due regard for phase transitions. It must be noted that the latter are the case both at the freezing (thawing) plane and over the range of temperatures in permafrost upon the thermal field dynamics within the limits of negative temperatures.

In solving geocryological problems differential equation systems are often used without consideration of the phase transitions, but this is unreasonable. In geocryological phenomena the action of discrete and evenly distributed internal springs and heat outlets conditioned by the phase transitions is so considerable that not only quantitative but also qualitative aspect of simulation processes is greatly distorted, provided this factor is not taken into account.

In simulating geocryological conditions, of great importance is the right choice of the boundary conditions and values of rocks' heat-physical features. When choosing the upper (surficial) boundary conditions, it is essential to use general and particular regularities of the formation of seasonal and perennial frozen rocks.

The regularities are established during geocryological survey. Account should be taken of the effect of each factor of the natural complex on the formation of temperature fields in rocks and on their water exchange conditions.

In this respect of paramount importance is establishing the relationship between radiation-heat balance of the surface and geocryological conditions. One should take into consideration both the general regularities of the relationships and regional features of each landscape type within the region under study. In considering these problems, when collecting field record, one must rely on the geocryological survey techniques available by applying rapid methods in the field and using approximation formulae, and by verifying the calculations directly in conducting geocryological survey in the field.

A successful study of the general geocryological conditions during the geocryological survey is largely subject to the right choice of rocks' heat-physical features. Such a choice is done in accordance with the geocryological survey data on the heat-physical features.

First and foremost, in simulating cryological processes of the natural systems it is essential to properly specify the course of the changes in the natural conditions (both of the individual factors and the whole landscape complex) and to associate them with a possible change in radiation-heat balance components, with the peculiarities of the development of rocks' temperature conditions, and with the whole complex of geocryological conditions. It is reasonable to conduct these studies through the paleogeographic history of the region's formation, the permafrost history, and for the recent conditions. Following the general regularities, observations can be made as to predicting changes in the geocryological conditions in the near future due to possible alterations of the natural conditions of the region under investigation.

In considering simulation of natural-engineering systems it is also necessary to take into account the character of man's industrial activities. One should thoroughly make the choice of the upper boundary conditions representing the essence of the environmental distortion by construction practice.

The mathematical simulation of the natural and natural-engineering systems together with geocryological survey is a powerful tool taking it possible to establish a probable course of a change in the natural and natural-engineering systems due to inherent dynamics of the environment and to man's industrial activities. All this helps to determine probable predicted changes in geocryological conditions enabling one to choose for the given region the optimum principles and methods of controlling cryogenic processes to suit national-economic and environmental protection ends.

В. А. Кудряцев, В. Г. Меламед
(СССР, Москва)

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Характер и особенности производственного освоения различных территорий в значительной мере предопределены природными условиями: характером геологического строения, геоморфологией, климатическими особенностями и прочими характеристиками ландшафтного комплекса. На распространение многолетнемерзлых горных пород в значительной степени влияют геокриологические условия. Характер и особенности распространения многолетнемерзлых пород и протекающие в них криогенные процессы нередко во многом определяют принципы и приемы хозяйственного освоения обширных территорий.

Из всего комплекса природных условий геокриологические выделяются по двум основным признакам. Прежде всего геокриологические условия крайне динамичны во времени. Вторая особенность состоит в наличии фазовых переходов, существенно влияющих на динамику и характер геокриологических условий как для природных, так и природно-технических систем. Математическое моделирование геокриологических и инженерно-геологических процессов и явлений в области вечной мерзлоты должно проводиться с учетом этих особенностей.

При этом важна тесная взаимосвязь между геокриологическими условиями и всем остальным комплексом природных условий. Каждый фактор этого комплекса: характер и состав пород и их свойства, особенности рельефа, гидрологические условия, климат и почвенно-геоботанические особенности —

в той или иной мере определяет закономерности формирования многолетне- и сезонномерзлых горных пород.

Поэтому математическое моделирование природных и природно-технических систем может проводиться только опираясь на общие закономерности формирования и развития всех геокриологических условий. В связи с этим возникает необходимость использования материалов геокриологических съемок в качестве основы для математического моделирования.

Физическая сущность геокриологических процессов достаточно хорошо изучена и разработана в теории тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых средах. Математическое моделирование этих процессов в основном осуществляется детерминированными методами, базирующимися на решении соответствующих задач математической физики. Применение статистических методов в данном случае целесообразно главным образом при обработке данных мерзлотной съемки, характеризующих как специфику природных и природно-технических систем, так и геокриологические условия, изменяющиеся в широких пределах на значительных территориях в пределах исследуемого района.

Успешность математического моделирования определяется выбором расчетных схем и систем дифференциальных уравнений, наиболее объективно и полно отражающих природную сущность процессов. В области вечной мерзлоты, как уже указывалось, формирование и развитие геокриологических процессов описывается системой уравнений тепло- и влагообмена в капиллярно-пористых средах и обязательным учетом фазовых переходов. Существенно, что фазовые переходы происходят как на фронте промерзания (оттаивания), так и в диапазоне температур в толщах мерзлых горных пород при динамике температурного поля в пределах отрицательных температур.

В практике решения геокриологических задач нередко пользуются системами дифференциальных уравнений без учета фазовых превращений. Это нельзя признать приемлемым, поскольку влияние порождаемых фазовыми переходами дискретных и равномерно распределенных внутренних источников и стоков тепла в геокриологических явлениях настолько велико, что пренебрежение этим фактором ведет к искажению не только количественной, но и качественной стороны моделируемых процессов.

Весьма важно при моделировании геокриологических условий правильно выбрать краевые условия и значения теплофизических характеристик горных пород. При выборе верхних (поверхностных) граничных условий необходимо пользоваться устанавливаемыми в процессе мерзлотной съемки общими и частными закономерностями формирования сезонно- и многолетнемерзлых толщ. При этом необходимо учитывать влияние каждого фактора природного комплекса на формирование температурных полей в горных породах и условия влагообмена в них.

Самым главным моментом в этом вопросе является установление связи между радиационно-тепловым балансом поверхности и геокриологическими условиями. При этом следует иметь в виду как общие закономерности таких связей, так и региональные особенности для каждого типа местности в пределах исследуемого района. При сборе материалов в полевых условиях следует базироваться на существующие методики мерзлотной съемки с применением экспресс-методов в поле с использованием приближенных формул и проверке этих расчетов непосредственно при производстве мерзлотной съемки в поле.

Успех изучения общих геокриологических условий при мерзлотной съемке во многом определяется правильным выбором теплофизических характеристик горных пород. Такой выбор производится в соответствии с данными мерзлотной съемки, которая производится для определения теплофизических характеристик в натуральных условиях.

При моделировании криологических процессов природных систем необходимо прежде всего правильно определить ход естественных изменений природных условий (как отдельных факторов, так и ландшафтного комплекса в целом), связать их с вероятным изменением составляющих радиационно-теплового баланса и особенностями развития температурного режима пород и всего комплекса геокриологических условий. Такие исследования целесообразно проводить на основе палеогеографической истории формирования района в целом и истории развития мерзлых толщ с учетом современных условий. На основе общих закономерностей можно прогнозировать изменение геокриологических условий в ближайшем будущем в связи с ожидаемыми изменениями природных условий данного района.

При рассмотрении моделирования природно-технических систем необходимо также учитывать характер производственной деятельности человека. Особо тщательно при этом должен проводиться выбор верхних граничных условий, отражающих сущность искажения природной обстановки практикой строительства.

Таким образом, математическое моделирование природных и природно-технических систем в сочетании с мерзлотной съемкой является мощным инструментом, позволяющим установить

вероятный ход изменения природных и природно-технических систем за счет естественной динамики природной среды и производственной деятельности человека. В соответствии с этим определяется прогнозирование изменений геокриологических условий, позволяющих выбрать оптимальные для данного района принципы и приемы управления мерзлотным процессом в народнохозяйственных целях и в целях охраны окружающей среды.

L. S. Garagulya, V. A. Kudryavtsev,
E. I. Nesmelova
(USSR, Moscow)

THE ROLE OF RADIATION-HEAT BALANCE IN PERMAFROST EVOLUTION

Thermal state of rocks in the earth's crust's upper levels is determined by a structure of the surface radiation-heat balance and by heat flux from its interior. The amount of solar energy (transformed into thermal) which is specified by the annual heat circulation is lost through the formation of rocks' temperature conditions. The value of the annual heat circulation can be obtained from an equation of the earth's surface radiation-heat balance. The equation has been worked out for a half-period of heating or cooling of the surface and basement rocks:

$$Q = R - LE - P, \quad (1)$$

where Q is the value of positive or negative heat circulation through soil surface, in Cal/m^2 ; R is the radiation balance in Cal/m^2 ; LE are the heat losses due to evaporation from the earth's surface in Cal/m^2 ; P are the heat losses due to turbulent heat exchange of the earth's surface with atmosphere in Cal/m^2 .

The relationship of heat circulations in soil and rocks to the earth's surface temperature conditions, to thermal conduction and thermal capacity of rocks, and to water phase transitions in rocks, is well-known. It may be expressed as follows:

$$Q = \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi}) + V \sqrt{\frac{\lambda TC}{\pi}}, \quad (2)$$

where ξ is the depth of seasonal thawing or freezing of soil and rocks, in m; A_{cp} is the amplitude of annual temperature fluctuations, average in a layer ξ , in $^{\circ}\text{C}$; C is the volumetric specific heat, in $\text{Cal}/\text{m}^3 \text{ deg}$; λ is the coefficient of soil thermal conduction, in $\text{Cal}/\text{m deg h}$; Q_{ϕ} is the heat of water phase transition upon thawing or freezing of soil in a layer ξ , in Cal/m^3 ; t_2 is the average annual temperature of rocks at a depth of seasonal thawing or freezing, in $^{\circ}\text{C}$; T is the period (year), hour.

From the equations (1) and (2) it is possible to obtain a value for average annual temperature of soil and rocks subject to the components of the earth's surface radiation-heat balance and to geological factors which are responsible for rocks' heatphysical properties:

$$t_2 = \frac{R - LE - P - \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi})}{V \sqrt{\frac{2\lambda TC}{\pi}}}, \quad (3)$$

In the period of cooling, due to abrupt reduction of solar energy influx and to increase in the surface albedo (after snow fall), the earth's surface temperature in the regions of permafrost and seasonal freezing of soil is determined primarily by effective radiation. As soon as the radiation balance becomes negative, and the surface temperature falls to zero, the process of water evaporation from the surface practically ceases, the turbulent heat exchange significantly decreases and changes its sign. At that time heat return from rocks into atmosphere proceeds by thermal radiation. For this reason, the negative radiation balance representing the surface effective radiation in winter may be related to average annual temperature of rocks through negative heat circulations:

$$t_2 = \frac{R - \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi})}{V \sqrt{\frac{2\lambda TC}{\pi}}}, \quad (4)$$

The equation (4) is a particular case of the equation (3), and the limits of its applicability are determined by specific climatic conditions.

The relationships under review are of great importance for investigations into thermodynamics of rocks' upper levels. On this basis it is possible to define a regular change in temperature conditions of rocks with different composition, thermophysical properties, hydrogeological and tectonic conditions in connection with the structure of the earth's surface radiation-heat balance.

The formation of the earth's surface radiation-heat balance is subject to a complex of geological and geographical factors, which is shown on a map of heat exchange conditions (the scale of 1:7 500 000) compiled for the USSR permafrost regions at the Permafrost Studies Chair.

The effect of each factor on the features of the radiation-heat balance structure and on rocks' temperature conditions is roughly determined by various empirical formulae. Using the formulae, one can assess changes in rocks' temperature conditions, permafrost formation or thawing depending on the radiation-heat balance structure for specific sites.

Following the relationships obtained, measures can be outlined on controlling geological conditions through a directed change in the radiation-heat balance structure for the most reasonable industrial development of the territory in connection with man's industrial activities.

Л. С. Гарагуля, В. А. Кудрявцев, Е. И. Несмелова
(СССР, Москва)

РОЛЬ РАДИАЦИОННО-ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА В РАЗВИТИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Тепловое состояние горных пород в верхних горизонтах земной коры определяется структурой радиационно-теплового баланса поверхности и теплотокотом из ее недр. На формирование температурного режима горных пород расходуется та часть солнечной энергии (трансформированной в тепловую), которая определяется годовым теплооборотом. Величина годового теплооборота может быть определена из уравнения радиационно-теплового баланса земной поверхности, составленного для полупериода нагревания или полупериода остывания поверхности и подстилающих пород, т. е.

$$Q = R - LE - P, \quad (1)$$

где Q — величина положительного или отрицательного годового теплооборота, проходящего через поверхность почвы, $\text{ккал}/\text{м}^2$; R — радиационный баланс, $\text{ккал}/\text{м}^2$; LE — затраты тепла на испарение с поверхности почвы, $\text{ккал}/\text{м}^2$; P — затраты тепла на турбулентный теплообмен земной поверхности с атмосферой, $\text{ккал}/\text{м}^2$.

Общезвестная зависимость теплооборотов в почве и горных породах от температурного режима земной поверхности, теплопроводности, теплоемкости горных пород и фазовых превращений воды в породах. Эта зависимость может быть выражена следующим образом:

$$Q = \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi}) + V \sqrt{\frac{\lambda TC}{\pi}}, \quad (2)$$

где ξ — глубина сезонного оттаивания или промерзания почв и горных пород, м; A_{cp} — амплитуда годовых колебаний температуры, средняя в слое ξ , $^{\circ}\text{C}$; C — объемная теплоемкость грунта, $\text{ккал}/\text{см}^3 \text{ град}$; λ — коэффициент теплопроводности грунта, $\text{ккал}/\text{м град ч}$; Q_{ϕ} — теплота фазового перехода воды при оттаивании или промерзании грунта в слое ξ , $\text{ккал}/\text{м}^3$; t_2 — средняя годовая температура горных пород на глубине сезонного оттаивания или промерзания, $^{\circ}\text{C}$; T — период (год), ч.

Из уравнений (1) и (2) можно получить значение средней годовой температуры почв и горных пород в зависимости от составляющих радиационно-теплового баланса земной поверхности и геологических факторов, определяющих теплофизические свойства массива пород, т. е.

$$t_2 = \frac{R - LE - P - \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi})}{V \sqrt{\frac{2\lambda TC}{\pi}}}, \quad (3)$$

В период остывания температура земной поверхности в области вечной мерзлоты и сезонного промерзания почв и грунтов вследствие резкого сокращения прихода солнечной энергии и увеличения альбедо поверхности (после выпадения снега) определяется, главным образом, эффективным излучением. Когда радиационный баланс становится отрицательным, а температура поверхности понижается до нуля, процесс испарения влаги с поверхности практически прекращается, турбулентный теплообмен

существенно уменьшается и меняет свой знак. В это время отдача тепла из горных пород в атмосферу происходит путем теплового излучения. Поэтому отрицательный радиационный баланс, представляющий собой эффективное излучение поверхности в зимний период, через отрицательные теплообороты может быть связан со среднегодовой температурой пород следующим образом:

$$t_{\Sigma} = \frac{R - \epsilon(nA_{\text{ср}}C + Q_{\text{ср}})}{\sqrt{\frac{2\epsilon T_{\text{ср}}^4}{\pi}}} \quad (4)$$

Уравнение (4) является частным случаем уравнения (3), пределы его применимости определяются конкретными климатическими условиями.

Рассматриваемые зависимости имеют большое значение для исследования термодинамики верхних горизонтов горных пород. Появляется возможность установления закономерного изменения температурного режима грунтов, отличающихся составом и теплофизическими свойствами, гидрогеологическими и тектоническими условиями, связанными со структурой радиационно-теплового баланса земной поверхности.

Формирование радиационно-теплового баланса земной поверхности определяется комплексом географических и геологических факторов, что выражено в карте условий теплообмена (масштаб 1:7500000), составленной на кафедре мерзлотоведения для территории распространения вечной мерзлоты в пределах СССР.

Влияние каждого фактора на особенности структуры радиационно-теплового баланса и температурный режим пород приближенно определяется различными эмпирическими формулами. Пользуясь этими формулами, можно оценить изменения температурного режима пород, образование или оттаивание многолетнемерзлых толщ в зависимости от структуры радиационно-теплового баланса для конкретных участков.

На основании полученных зависимостей могут быть определены мероприятия, направленные на изменение структуры радиационно-теплового баланса для наиболее рационального производственного освоения территории и охраны природной среды.

V. S. Yakupov, V. M. Kalinin
(USSR, Yakutsk)

METHODS OF MAPPING OF PERMAFROST THICKNESS — COMPILING REGIONAL MAPS

The study of permafrost morphology and its thickness, in particular, comprises one of the main problems of geocryology. The most complete investigation of permafrost is possible with the help of geophysical operations in sufficiently deep wells. These geophysical operations allow one to study the geothermal field and to determine independently the permafrost base position, that is necessary if the ground water is not fresh. However, this work advances extremely slow, as the positioning of deep wells and mines is determined by the location of industrial or promising fields of mineral deposits and large settlements. As a result, there is no a well on vast territories with extreme natural conditions and the situation will not change in the nearest future. Therefore, it is very important to use broadly and systematically geophysical methods for determination of permafrost thickness. At present, a method of this problem solution is developed with the help of electrical depth sounding (EDS) technique. Electrical interface coincides with the boundary separating rocks with different phase conditions of free water containing in them. The determination of permafrost thickness by EDS technique is possible in the following conditions: a) electrical boundary on which specific electrical resistance falling to two and more times is in line with the permafrost base; b) frozen rocks make up a part of a thick lithological homogeneous terrane and the nature of the boundary determined is beyond doubt; c) frozen unconsolidated deposits do not shield permafrost base. These conditions (by permafrost thickness being more than 100 m, which is typical of the northern regions) are easily carried out and controlled when frozen strata is a bedrock.

By present time a large volume of work has been done on determination of permafrost thickness by using EDS technique in eastern Siberia and in the North-East of the USSR. Thus geocryology possesses method of determination of permafrost thickness by EDS technique and has necessary experience of its application.

Nevertheless, provision of compiling of permafrost thickness maps for vast areas with sufficient amount of actual material corresponding to the map scale is still the work of very large volume. Therefore, more expedient is map compiling on the basis of regularities relating permafrost thickness to factors known. For instance, for the areas composed by rocks with approximately equal heat conductivity and fresh ground water, change in stationary frozen strata from point to point under other equal conditions is determined by mean annual rock temperature variation. Mean annual temperature directly and indirectly usually depends on elevation of the region. For Chekanovskiy Ridge correlation coefficient between the elevation of point and permafrost thickness is 0.6; relation is linear here. According to the data of EDS technique relation between the average values of permafrost thickness \bar{H} and absolute marks h is given by the regression equation:

$$H = 0.64h + 320; \quad 100\text{m} \leq h \leq 500\text{m}. \quad (1)$$

This equation allows to calculate permafrost thickness apparently everywhere within Chekanovskiy Ridge as geomorphological unit. It is necessary to specify south-west boundaries of the region of the equation application: as it will be seen further eastwards in Verkhoyanskii Ridge permafrost thickness is subjected to other regularity.

Similar feature was found for Anabarskiy crystalline massif where permafrost thickness increases rapidly with altitude: hypso-geothermal gradient is larger than geothermal one:

$$\bar{H} = 1.17h + 180; \quad 100\text{m} \leq h \leq 700\text{m}. \quad (2)$$

It is possible that for definite area permafrost thickness doesn't change with altitude or changes only slightly as a result of interaction of all factors. In this case existence of relation between absolute marks of day surface h and base of permafrost h_m is expected. This also allows to calculate permafrost thickness at any point of the region. Such relation which is rather close (correlation coefficient being 0.66) was stated for Verkhoyanskii Ridge northern extremity to which Chekanovskiy Ridge discussed above as adjacent in the west

$$\bar{h}_m = 0.68h - 350; \quad 100\text{m} \leq h \leq 500\text{m}. \quad (3)$$

In the basin of Olenek River middle-course with salted ground water permafrost thickness is subjected to rather extreme and significant variations caused by the changes of ground water mineralization. The main tasks of the investigation of permafrost thickness in such regions, in the plan considered, are the definition of its mean value, dispersion characterizing variation amplitude, i. e. function of permafrost thickness, the possible trend of permafrost thickness mean value and improvement of the region boundaries.

On the basis of the existence of the regularities of the type described the following method of compiling of permafrost thickness regional maps is suggested. It allows to use widely electrical depth sounding technique for the determination of permafrost thickness:

1) mapped territory is divided into the area stable by possible large number of factors determining permafrost thickness (taking into account geological composition, relief and hydrogeological conditions);

2) the relations for each of them are defined as the equations of regression between the frozen strata thickness and determining it directly or indirectly variable factors known or easily found;

3) in the case when these relations are absent the function of permafrost thickness distribution is composed;

4) refined are the boundaries of areas in the limits of which these equations or distribution functions are valid. When it is necessary the additional works are carried out.

As a result, the amount of data needed for the compiling of permafrost thickness maps (of predetermined scale) for specific region may be reduced up to number sufficient for the determination of the relationships required, i. e. reduced rather significantly.

В. С. Якупов, В. М. Калинин
(СССР, Якутск)

МЕТОД СОСТАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ КАРТ МОЩНОСТЕЙ МЕРЗЛОЙ ТОЛЩИ

Изучение морфологии мерзлой толщи, в частности ее мощности, представляет одну из основных проблем мерзлотоведения. Наиболее полно исследовать мерзлые толщ возможно с помощью геофизических работ в достаточно глубоких скважинах,

позволяющих изучать геотермическое поле и определить положение нижней границы мерзлой толщи в случае, если подземные воды не являются пресными. Однако эта работа продвигается чрезвычайно медленно, поскольку расположение глубоких скважин и шахт зависит от размещения промышленных предприятий, перспективных месторождений полезных ископаемых и крупных населенных пунктов.

В результате на громадных территориях в основном с экстремальными природными условиями нет ни одной скважины, и в ближайшем будущем положение не изменится. Поэтому для определения мощности мерзлой толщи (ММТ) очень важно широко и планомерно использовать геофизические методы. К настоящему времени для решения этой задачи разработан метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Электрическая граница раздела совпадает с границей, разделяющей горные породы с различными фазовыми состояниями содержащейся в них свободной воды.

Определение ММТ методом ВЭЗ возможно при следующих условиях: нижней границе мерзлой толщи соответствует электрическая граница, на которой удельное электрическое сопротивление уменьшается в 2 раза и более; мерзлые горные породы составляют часть достаточно мощной литологически однородной толщи и природа определяемой границы не вызывает сомнений; мерзлые рыхлые отложения не экранируют нижнюю границу мерзлой толщи. Если ММТ больше 100 м, что и свойственно северным районам, эти условия наиболее легко выполняются и контролируются в том случае, когда мерзлые породы являются скальными.

К настоящему времени проведены значительные работы по определению ММТ методом ВЭЗ в Восточной Сибири и на северо-востоке СССР.

Тем не менее для построения соответствующего масштаба карт ММТ крупных регионов получение достаточного количества фактических данных по-прежнему остается работой очень большого объема. Поэтому более целесообразным представляется составление карт на основе закономерностей, связывающих ММТ с известными факторами.

Например, для районов, сложенных породами с примерно одинаковой теплопроводностью и пресными подземными водами изменение мощности стационарной мерзлой толщи в различных точках при прочих равных условиях определяется колебаниями среднегодовой температуры горных пород. Последняя — обычно и прямо и косвенно (через геоморфологические особенности) зависит от высоты местности над уровнем моря. Следовательно, связь между ММТ и высотой точки наблюдения над уровнем моря может существовать в зависимости от соотношения геотермического и гипсометрического градиентов. Для края Чекановского коэффициент корреляции между высотой точки и ММТ равен 0,6; связь между ними линейная. Связь между средними значениями ММТ \bar{H} , по данным ВЭЗ, и абсолютными отметками h выражается уравнением регрессии:

$$\bar{H} = 0,64h + 320; \quad 100 \text{ м} \leq h \leq 500 \text{ м}. \quad (1)$$

Это уравнение позволяет вычислить ММТ, по-видимому, в пределах края Чекановского как геоморфологической единицы. Подлежат уточнению юго-западные границы применимости уравнения: восточнее, в Верхоянском хребте, ММТ подчиняется иной закономерности.

Подобная зависимость установлена для Анабарского кристаллического массива, в пределах которого ММТ с высотой растет еще быстрее — гипсометрический градиент больше геотермического:

$$\bar{H} = 1,17h + 180; \quad 100 \text{ м} \leq h \leq 700 \text{ м}. \quad (2)$$

Возможно, что для конкретного района в результате взаимодействия всех факторов ММТ с высотой не изменяется или изменяется в сравнительно небольших пределах. В этом случае следует ожидать существования связи между абсолютными отметками дневной поверхности h и нижней границы мерзлой толщи h_m , что также позволяет вычислить ММТ для любой точки района. Такая довольно тесная связь (коэффициент корреляции равен 0,66) была установлена для северной оконечности Верхоянского хребта, к которой с запада примыкает край Чекановского:

$$h_m = 0,68h - 350; \quad 100 \text{ м} \leq h \leq 500 \text{ м}. \quad (3)$$

В бассейне среднего течения р. Оленек, с засоленными подземными водами, ММТ испытывает довольно резкие значительные колебания, обусловленные изменениями минерализации подмерзлотных вод. Основными задачами при изучении ММТ таких районов являются определение ее среднего значения, дисперсии, характеризующей амплитуду колебаний, т. е. функции распределения ММТ, возможного тренда среднего значения ММТ и уточнение границ района.

С учетом закономерностей описанного типа предлагается следующий метод составления региональных карт ММТ, основанный на широком использовании для ее определения метода ВЭЗ:

— картируемая территория разделяется на районы, стабильные по возможно большему числу факторов, определяющих ММТ (с учетом геологического строения, рельефа и гидрогеологической обстановки);

— для каждого из них отыскиваются связи — в виде уравнений регрессии между ММТ и определяющими ее прямо или косвенно переменными факторами, известными или легко определяемыми; если такие связи отсутствуют, строится функция распределения ММТ;

— уточняются границы районов или участков, в пределах которых эти уравнения или функции распределения имеют силу, и в случае необходимости проводятся дополнительные работы.

В результате количество данных, необходимых при построении карт ММТ заданного масштаба для конкретного региона, можно сократить до числа, достаточного для установления основных зависимостей, т. е. весьма существенно.

M. K. Gavrilova
(USSR, Yakutsk)

THERMAL REGIME OF YAKUTIA LANDSCAPES

Yakutia is one of the regions on the globe with the most rigorous climate. It suffices to say that the "pole of cold" of the northern hemisphere is located here. The vast extension of the territory causes somewhat different general climatic as well as heat balance characteristics from region to region. In extraordinary multifarious natural conditions (forest, reservoirs, glaciers, icings etc.) peculiar microclimates are developed and they are not enough investigated.

Thermal regime of open areas of land. In Yakutia a warm or seasonal thawing period or the period with constant positive daily air temperatures lasts 2—2.5 months in arctic part and in highland of the North-East and 5—5.5 months in central and southern regions. The amount of positive air temperatures over this period makes up 400° in arctic tundra and 1600° in Central Yakutia.

The total radiation during the season amounts to 35 kcal/cm² in Arctic up to 70 kcal/cm² in the Far South. Radiation balance ranges from 15—16 kcal/cm² in arctic and highland regions to 33 kcal in Central and South Yakutia. Heat flow to the soil forms 2 kcal/cm² on arctic islands and in highland and 4 kcal/cm² in central and southern regions.

On the territory of Yakutia the depth of seasonal thawing varies from 0.5 m in Arctic to 4.5 m in the south.

A cold or the seasonal freezing period or the period with constant negative air temperatures lasts 9.5—10 months in Arctic and 6—7 months in southern and central regions.

The severity of temperature conditions in winter changes in Yakutia not from the south to the north as in summer but from the south-west to the north-east. The largest amount of negative temperatures (7000°) is in the intermontane depressions of the north-east. It is somewhat below in the arctic and Central Yakutia (5000—6000°) whereas in the south of Yakutia it varies from 3500 to 4500° C.

During the season the total radiation ranges between 40 kcal/cm² in the arctic islands and 30 kcal/cm² in the southern regions. The exceeding of the radiation occurs due to extended spring. But 75—80% of heat is lost by the reflection from snow and ice. Radiation balance changes from —4 kcal/cm² in the north to zero in the south. The heat loss by soil-ground is: from 2 kcal in the northern regions to 4 kcal in the central and southern ones.

In winter soil-ground is the coldest in the intermontane depressions of the north-east and Central Yakutia. They are warmer in the arctic Yakutia and the warmest ones are in the south-west of the territory.

Thermal regime of the forest. The forests predominate in the Yakutia landscape. Except tundra they cover about 80% of the territory. The forest reduces the total heat and moisture exchange. In the north of Yakutia 1/4 of radiation arrives under the trees while in the Central Yakutia it makes up half and in the southern part — 1/2 of the radiation. In summer the forest cools the soil-ground and in winter warms it. Because of the predominance of winter conditions in Yakutia the forests have mainly warming influence here.

Thermal regime of the basins. In Yakutia by places the lakes occupy 10—30% of the territory. During the warm period radiation balance of the lake surface is about 30% high than that of

the land. But due to considerable heat loss in the evaporation and heating of air and water the heat flow to the basin's bottom is negligible, especially for the big lakes. But in winter the basin protects ground from cooling. As a result ground is warmer under the basins. There are through taliks (an unfrozen zone) under the big lakes and rivers against the background of continuous permafrost.

Thermal regime of glaciers. Glaciers are mainly spread in the mountains of the North-East. In summer they absorb a large amount of heat for melting. In winter they are good protection for ground. Despite the most severe climatic conditions in these regions permafrost is relatively warm in the upper layer under glaciers.

Thermal regime of icings. Icings are spread in the North-East, Southern and Central Yakutia. In contrast to glaciers they are "warmer" as they give off heat on water freezing. During summer they usually completely melt. In winter the icings not only protect soil-ground from cooling but also make them warmer. In the early summer before melting icings slightly prevent the ground from warming up. On the whole soil-ground at the icing sites are warmer. Through or above permafrost taliks exist by places.

Peculiar equivalent heat balance regime formed under natural conditions in each locality. Its disturbance results in changing of thermal and moisture regime of specific sites. This fact should be taken into account in the development of northern territories where nature is very sensitive to changes. For instance cutting down of the forest leads to ground freezing but surface cover disturbance sharply increases permafrost table and this causes soil swamping.

Heat protective and warming effects of water basins, icings and etc. by proper water regulation may be used for the purpose of heat amelioration of lands.

М. К. Гаврилова
(СССР, Якутск)

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЛАНДШАФТОВ ЯКУТИИ

Якутия — одна из самых суровых областей земного шара, здесь находится «полюс холода» северного полушария. Большая протяженность ее обуславливает несколько различные как общие климатические характеристики, так и характеристики теплового баланса различных ландшафтов, где имеются свои микроклиматы (лес, водоемы, ледники, наледы и т. д.), которые изучены еще мало.

Тепловой режим открытых пространств суши. Теплый период в Якутии (или период сезонного протаивания, или период с устойчивыми положительными суточными температурами воздуха) длится от 2—2,5 месяцев в арктической части до 5—5,5 месяцев в центральных и южных частях. Сумма положительных температур воздуха за это время составляет от 400° в арктической тундре до 1600° в центральной части Якутии.

Суммарная радиация за сезон составляет от 35 ккал/см² в арктической части до 70 ккал/см² на крайнем юге; радиационный баланс — от 15—16 ккал/см² в арктических и высокогорных районах до 33 ккал/см² в центральной и южной частях Якутии; тепловой поток в почву — от 2 ккал/см² на арктических островах и в высокогорье до 4 ккал/см² в центральных и южных районах. Глубина сезонного протаивания изменяется по территории Якутии от 0,5 м в Арктике до 4,5 м на юге.

Холодный период (или период сезонного промерзания, или период с устойчивыми отрицательными температурами воздуха) длится от 9,5—10 месяцев в Арктике до 6—7 месяцев в южных и центральных районах. Суровость температурных условий зимой изменяется в Якутии не с юга на север, как летом, а с юго-запада на северо-восток. Самая большая сумма отрицательных температур (7000°) в межгорных котловинах северо-восточной части; в арктической и центральной частях Якутии она несколько меньше (5000—6000°), а на юге она составляет 3500—4500°.

Суммарная радиация за сезон составляет от 40 ккал/см² на арктических островах до 30 ккал/см² в южных районах. Превышение радиации в Арктике является результатом продолжительной весны. Но 75—80% тепла теряется отражением от снега и льда. Радиационный баланс в северной части равен 4 ккал/см², в южной части — нулевой. Расход тепла почво-грунтами составляет от 2 ккал в северных районах до 4 ккал в центральных и южных. Наиболее холодные почво-грунты зимой в межгорных котловинах северо-восточной и центральной частях Якутии. В арктической части Якутии они теплее. Наиболее теплые — в юго-западной части Якутии.

Тепловой режим леса. Леса в Якутии составляют преобладающий тип ландшафта. Лес ослабляет общий тепло- и влагообмен. Под пологом леса в северной части Якутии поступает примерно $\frac{3}{4}$, в центральной части Якутии — $\frac{1}{2}$, а в южной части Якутии — лишь $\frac{1}{3}$ радиации. Лес оказывает летом охлаждающее влияние на почво-грунты, а зимой — обогревающее. Поскольку в Якутии преобладает зимний режим, то в целом леса здесь оказывают обогревающее влияние.

Тепловой режим водоемов. В некоторых районах Якутии озера занимают 10—30% площади. Радиационный баланс поверхности озера в теплый период примерно на 30% выше радиационного баланса окружающей суши. Однако вследствие большой затраты тепла на испарение и прогревание воздуха и воды, тепловой поток в дно водоема, особенно для больших озер, незначителен. Однако в зимнее время водоем защищает грунты от выхолаживания. В результате под водоемами грунты теплее, а под крупными озерами и реками на фоне сплошной «вечной мерзлоты» существуют сквозные талики.

Тепловой режим ледников. Ледники распространены, главным образом, в горах северо-восточной части. Летом они поглощают большое количество тепла на таяние. Зимой они являются хорошей защитой для горных пород. Несмотря на наиболее суровые климатические условия в этих районах, под ледниками вечная мерзлота в верхнем слое имеет относительно высокую температуру.

Тепловой режим наледей. Наледи распространены в северо-восточной, южной и центральной частях Якутии. В отличие от ледников они более «теплые», так как выделяют тепло при замерзании воды. За лето они обычно полностью оттаивают. Зимой наледы не только защищают от выхолаживания почво-грунты, но и обогревают их. В целом почво-грунты на наледных участках более теплые, а местами имеют место сквозные или надмерзлотные талики.

В естественных условиях в каждом из местоположений сложился свой равновесный режим теплового баланса. Нарушение его приводит к нарушению режима тепла и влаги отдельных участков. Это необходимо учитывать при освоении северных территорий, где природа очень чувствительна ко всяким изменениям. Так, вырубка леса способствует промерзанию грунтов, но нарушение напочвенного покрова приводит к резкому повышению верхнего уровня мерзлоты, что приводит к заболачиванию.

Теплозащитный и обогревающий эффект водоемов, наледей и др. при соответствующем регулировании вод, может быть использован для тепловой мелiorации грунтов.

В. А. Yurtsev, A. I. Tolmachov, O. V. Rebristaya
(USSR, Leningrad)

SECTORAL DIFFERENTIATION OF THE ARCTIC FLORA (AF)

1. One of the most vulnerable components of the arctic nature is flora. The strategy of preservation of the AF gene pool should be based on floristic subdivision of the Arctic (A.).

2. The rise of the modern arctic landscapes, having resulted from the formation of the permanent sea-ice cover, dry and constantly cold airmasses, and permafrost, was a globe-scale event of Late Pliocene, that brought about the present zonation of the N hemisphere. Combined with the neotectonic orogenesis, this much extended the areas of alpine floras in the N hemisphere and thus favoured the consolidation of cryophyte complexes: the coming in contact of more southerly alpine floras previously separated, the joining of the northern ones to the general system of cryophytic flora exchange via A., the "empire" of cryophytes. Vast alpine areas in the northern taiga zone, dominated by tundra cryophytes, are, in fact, the prolongations of A. They are the only areas beyond A. itself, where are known scattered relic localities of spp. or even genera practically endemic to A. (e. g., *Draba subcapitata*, *D. macrocarpa*, the both spp. of *Phippsia*, *Poa abbreviata*). Due to peculiarity of its flora traced over huge areas, A. deserves the rank of a floristic region, which is accepted by the most of authors.

Diagnostic features of the arctic floristic region (AFR) are: 1. The endemism: not to consider the taxa scarcely penetrating into A., ca 1000 spp. of vascular plants are native of it, more than $\frac{1}{10}$ of which being endemic; the endemic or subendemic genera are *Dupontia*, *Phippsia*, *Pleuropogon* s. str., *Arctophila* and possibly some others; the endemic taxa of an above-species level are found in *Poa*, *Puccinellia*, *Papaver*, *Draba*, *Cerastium*, *Gastrolychnis*, *Taraxacum*, and many other genera; many of the

arctic endemics are thriving, ubiquitous elements of AF; 2. The peculiar taxonomical structure of AF which is characterized by the absence, or decrease in importance (if compared with more southerly floras), of many phyletic lineages and, resp., the increase of the share of the most tolerant lineages; the distinctions from boreal floras are minimal in the southern hypoarctic tundra subzone, growing progressively poleward; one can mention the prevalence (in the high A.) of bryophytes and lichens over vascular plants by the number of spp., and the lack of gymnosperms. The distinctions of AF from boreal floras are also determined by the eco-physiological and constitutional features of arctic plants, different vectors of evolution, the peculiarities in speciation and florogenesis. 3. We do not refer to AFR proper the treeless, and mostly lacking permafrost, areas with an oceanic climate in the Atlantic sector (SW, S and SE Greenland, Iceland, Faeroes, northernmost Fennoscandia) and the Pacific sector (the Alaska Peninsula, the Aleutian and Commander Is., the northern and middle Kuril Is.; the Anadyr-Penzhina province of the Kamchatka, i. e. large hemi-prostrate shrubs), whose floras are dominated by oceanic and suboceanic spp. alien to A. proper, boreal, hypoarctic and hypoarctic-alpine. The question is whether it is correct to include the above territories into AFR as 2 subregions: the North Atlantic and North Pacific. 4. We distinguish within AFR proper 6 provinces (mapped in Yurtsev. Problems of phytogeography of NE Asia, 1974, Leningrad, "Nauka", fig. 31): I. The East Siberian, with 4 subprov.—Taimyr (incl. North Land), Anabar—Olenek Kharaulakh, Yana—Kolyma; II. The Chukotka, with the Continental Chukotka and Beringian Chukotka subprovinces, and the Amguema transitional circuit (the lower reaches of the Anadyr R. along with the northernmost Koryak Coast can be considered as the 3-rd, South Chukotka subprov.); III. The Alaskan, with 2 subprov.—Beringian Alaska and North Alaska (the NW Alaska circuit, incl. the western spurs of the Brooks Range, is the counter-part of the Amguema transit. circuit); IV. The Canadian-Greenland, with 5 subprov.—Central Canadian (incl. SW portion of the Archipelago), West Hudsonian (incl. NW and central parts of the Baffin L.), Ellesmere—North Greenland, West Greenland, and East Greenland; V. The Baffin—Labrador; VI. The European—West Siberian, with 4 subprov.—Kamchatka—Pechora, Ural—Novaya Zemlya, Yamal—Gydan, Svalbard (incl. Franz Josef L.).

The Yan-Mayen I., on one hand, the northern islands of the Bering Sea (Diomedes Is., St. Lawrence I., St. Matthew I.), on the other, with their depauperate oceanic floras, are treated as 2 autonomous circuits. Thus, we follow the longitudinal-sectoral principle of division, accentuating the historical features of different parts of AFR, the influence of regional factors (topography, lithology, etc.) as well as the degree of continentality. (The latitudinal differentiation of the A. plant cover is shown on a special scheme of phytogeographic subzones of the tundra zone, compiled by the authors.) An analytic list of spp. and races has been compiled for every province and subprovince, that includes: 1) the endemics and subendemics of the given phytochorion; 2) the other differential spp. entering it from S or having here a separate phragm of the range; 3) the west and east co-differential spp. which are in the given phytochorion at either the east, or the west limit of distribution and thus overlap only here; 4) the negative-differential and negative-codifferential spp. lacking in the phytochorion but being present in the both neighbouring ones or only in one of the two.

Since a floristic peculiarity of different sectors manifests itself in dissimilar ways, one needs the complex estimation of the peculiarity according to several criteria, which suggests "weighing" different floristic distinctions. Sectoral endemism is well represented but in the II and III provinces forming the Beringian sector. More universal criteria are the selective northward penetration of boreal and alpine spp. into different sectors of A. as well as the ratio between continental and oceanic elements. The most homogeneous units in our scheme are subprovinces (18), whereas the provinces (except the V) are natural assemblages of subprovinces grouped according to their maximum floristic similarity by the above criteria. Our scheme is the 1st detailed floristic subdivision of the whole A., provided with a minute characterisation of every phytochorion. 5. The floristic integrity of AFR is determined by the great share in AF of circumpolar plants ($2/5$ up to more than $1/5$ of the spp. of a local flora, the ratio increasing poleward) along with the wide distribution of continental plants in A. The floras of continental sectors nearly lacking the oceanic elements are separated in the vicinities of Bering Strait only by "mixed" (continental-oceanic) floras of the Chukchi and Seward Peninsulas and by a very narrow "oceanic wedge" of insular floras; the continental floras of Asia and North America conjugated more than once during Pleistocene in the times that the Beringian shelf was exposed. In the Atlantic bordering parts of A., the sector of "mixed" floras is much wider, especially in lower latitudes.

The distribution of continental elements in A. was nearly continuous during the global marine regression in Late Pleistocene, and probably also in Late Pliocene-Early Pleistocene, i. e. during the very time of the establishment of the modern arctic landscapes; one can assume that the permanent sea-ice cover has formed earlier in the Amerasian sub-basin of the Arctic (Polar) basin, than in the Euramerican one, and since that time has been keeping more stable.

The distribution of oceanic elements expanded during sea transgressions (incl. the Holocene transgr.) and could have been continuous in Pliocene, i. e. before the establishment of the permanent sea-ice cover in A. The persistence (since the Late Pleistocene?) of the set of steppe plants in the Wrangel I. and the SW islands of the Canadian Archipelago does not fit the hypothesis of the complete disappearance of sea-ice in A. during warm phases of Holocene, and suggests the preservation of the ice cover at least in the Amerasian sub-basin. The Atlantic sector and partially, the Beringian were influenced by glaciations and marine transgressions to a greater extent, than the continental sectors; while getting free of ice or sea, the territories with a transitional climate were being populated from vast continental refuges and more southerly (less extensive) oceanic ones.

Б. А. Юрцев, А. Н. Толмачев, О. В. Ребристая
(СССР, Ленинград)

СЕКТОРАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ФЛОРЫ

1. В число наиболее уязвимых компонентов природных комплексов Арктики (А) входит и ее флора. При выработке стратегии охраны генофонда арктической флоры (АФ) необходимо руководствоваться флористическим районированием А.

2. Возникновение в конце плиоцена арктических ландшафтов современного типа (как следствие образования постоянного ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО), области сухого арктического воздуха, вечной мерзлоты) явилось одним из глобальных палеогеографических событий, вызвавших к жизни современную контрастную зональность Земли. Вместе с неотектоническим горообразованием это намного расширило ареалы высокогорных флор в северном внетропическом поясе, способствовало консолидации криофитных комплексов: установлению контакта между разобщенными прежде флорами многих южных высокогорий, подключению северных высокогорий Евразии и Америки к общей системе флористического обмена через А — «царство криофитов». Обширные высокогорья северной части таежной зоны (с господством тундровых криофитных комплексов) являются как бы продолжением А, образуя вместе с ней непрерывную область криофитных флор. Только в этих высокогорьях известны реликтовые местонахождения видов и даже родов, в остальном эндемичных для А (напр., *Draba subcapitata*, *D. macrocarpa*, оба вида *Phippsia*, *Poa*, *abbreviata*). По своеобразию флоры, выдержанному на огромном пространстве, А вполне заслуживает ранга флористической области, что принимается большинством авторов.

Диагностические признаки арктической флористической области (АО): 1) эндемизм: если исключить виды, едва заходящие в А, богатство АФ можно оценить цифрой 1000 видов, из которых свыше $1/10$ эндемичны и очень многие субэндемичны; эндемичные и почти эндемичные роды — *Dupontia*, *Phippsia*, *Pleurogogon* s. str., *Arctophila*, возможно и ряд других; эндемичные и субэндемичные группы видов известны в рр. *Poa*, *Puccinellia*, *Papaver*, *Draba*, *Cerastium*, *Gastrolachnis*, *Taraxacum* и др.; многие эндемики А — процветающий, повсеместный элемент ее флоры; 2) своеобразие систематической структуры флоры, определяющееся выпадением или уменьшением доли многих крупных филумов и соответствующим увеличением доли наиболее толерантных групп в композиции АФ. Отличия от boreальных флор минимальны в полосе южных гипоарктических тундр и резко усиливаются к северу. Достаточно отметить выделение на первые места по числу видов мхов и лишайников, выпадение голоосемянных. Самобытность АФ относительно boreальных флор определяется также эколого-физиологическим и конституционным своеобразием арктических растений, своеобразием векторов эволюции, особенностями видообразования и флорогенеза.

3. Мы не относим к собственно АО — безлесные, большей частью немерзлотные территории с океаническим климатом

в Атлантическом секторе (юго-западной, южной и юго-восточной Гренландии, Исландии, Фарерских о-вов, севера Феноскандии) и Тихоокеанском (п-ов Аляска, Алеутские о-ва, Командорские о-ва, северная и средняя часть Курильских о-вов; аляскинско-пенжинская провинция хвойных стлаников), где во флоре доминируют чуждые типичной А океанические и субокеанические комплексы — бореальные, типарктические и типарктально-альпийские. Следует изучить вопрос о включении этих территорий в АО на правах подобластей: Североатлантической и Северо-тихоокеанской.

4. В пределах собственно АО мы выделяем шесть провинций: I. Восточносибирскую с подпровинциями Таймырской (включая Северную Землю), Анабаро-Оленекской, Хараулахской, Яно-Колымской; II — Чукотскую с подпровинциями: Континентально-Чукотской и Берингийско-Чукотской и Приамгузским переходным округом (низовья Анадыря и северная часть Корякского побережья можно выделить в третью — Южночукотскую подпровинцию); III — Аляскинскую с подпровинциями Берингийско-Аляскинской и Североаляскинской (округ северо-западной Аляски, включая западные отроги хребта Брукса — аналог Приамгузского переходного округа); IV — Канадско-Гренландскую с подпровинциями Центральноканадской (включая юго-западную часть архипелага), Западногудзоновской (включая северо-западную и центральную части Баффиновой Земли), Элсмир-Северогренландской, Западногренландской и Восточногренландской; V — Баффино-Лабрадорскую; VI — Европско-Западносибирскую с подпровинциями Канино-Печорской, Урало-Ныземельской, Ямало-Гыданской, Свальбарда (включая Землю Франца-Иосифа), о. Ян-Майен, с одной стороны, северную часть о-вов Берингова моря (Диомидовы или Крузенштерна, Св. Лаврентия, Св. Матвея), с другой, с их объединенными океаническими флорами, выделяются два автономных округа на стыке IV и VI, II и III провинций.

Таким образом, мы следуем долготно-секторальному принципу деления, подчеркивающему своеобразие истории флоры разных частей АО, влияние на флору местных природных условий (рельеф, литология и др.) и степени континентальности климата. (Широтная дифференциация флоры и растительности А отражена нами в схеме ботанико-географических подзон тундровой зоны. Для каждой провинции и подпровинции составлен аналитический список видов и рас, в который включены: эндемики и субэндемики данной флоры, прочие дифференциальные виды (выборочно заходящие в нее с юга или имеющие здесь обособленный фрагмент ареала), западные и восточные коифференциальные виды (находящиеся в данной флоры, соответственно у своего восточного или западного предела и только в ней встречаются совместно), негативно-дифференциальные и негативно-коифференциальные виды (отсутствующие в данной флоры, но присутствующие в обеих соседних, либо в одной из двух). Ввиду того, что флористическое своеобразие очень несходно проявляется в разных долготных подразделениях А, необходима комплексная оценка его по различным показателям, со взвешиванием признаков.

Секторальный эндемизм хорошо представлен лишь в II и III провинциях (Берингийский сектор А). Более универсальными критериями являются выборочное захождение с юга в разные секторы бореальных и аркто-альпийских видов и изменение соотношения континентальных и океанических (большей частью коифференциальных) видов. Наиболее флористически цельными единицами в нашей схеме являются подпровинции (18), провинции же (кроме V) представляют объединения подпровинций по принципу максимального сходства. Наша схема — первый детальный проект флористического разделения всей А, снабженный подробной характеристикой выделов.

5. Единство флоры АО определяется не только высоким «удельным весом» в ней циркумполярных видов (от $\frac{2}{5}$ — до свыше $\frac{4}{5}$ состава локальных флор, с повышением доли в направлении с юга на север), но и широким распространением континентальных элементов. Флоры континентальных секторов АО, почти лишенные океанических элементов, в области Берингова пролива разделены лишь «смешанными» (континентально-океаническими) флорами п-овов Чукотского и Сьюарда, а также очень узким «океаническим клином» островных флор; в периоды осушения пролива континентальные флоры Азии и Америки соединялись. В приатлантической части А сектор «смешанных» флор намного шире, особенно в более низких широтах.

Распространение континентальных элементов в А было почти непрерывным в период глобальной регрессии позднего плейстоцена, а, возможно, и в позднем плейстоцене — раннем плейстоцене, т. е. в эпоху становления современных арктических ландшафтов; можно предположить, что в Американо-Тихоокеанской суббассейне ледовый покров установился раньше, чем в Евразийском, и был стабильнее. Распространение океанических элементов расширялось в эпоху морских трансгрессий (включая голоценовую); непрерывным оно могло быть в плейстоцене — до

образования постоянного ледового покрова СЛО. Сохранение с позднего плейстоцена комплексов степных растений на о. Врангеля и юго-западных о-вах Канадского архипелага не согласуется с гипотезой о полном стаянии льдов СЛО в теплую эпоху голоцена. Очевидно, ледяной покров сохранялся хотя бы в Американо-Тихоокеанской суббассейне. Приатлантические и отчасти приберингийские районы испытали большее воздействие оледенений и морских трансгрессий, нежели континентальные секторы А. Освобождавшиеся территории с переходным климатом заселялись из обширных континентальных и более южных (менее протяженных) океанических рефугиумов.

K. F. Voitkovsky, R. M. Kamensky
(USSR, Moscow and Yakutsk)

CONDITIONS AND PECULIARITIES OF CONSTRUCTIONS PROJECTS IN THE PERMAFROST AREAS

Development of permafrost areas is connected with certain difficulties and extra expenses which are caused not only by remoteness from main industrial centres and bases of construction industry, by complex transport connections, little density of population, and severe climate. Frozen grounds (and ice) used as foundation, surroundings or building materials possess specific features resulting in another approach to research, design, construction and other kind of man's activity in these regions.

When designing, constructing and running units intended for different purposes in permafrost areas, a following peculiarity should be taken into account, i. e. heat exchange between frozen grounds and construction units as well as the Environment, for physico-mechanical and building properties of the frozen grounds vary with melt (freeze) and temperature variations in the negative range. This fact is accompanied by development of cryogen processes which have a harmful impact on the stability of construction units.

In the early 19th century, while constructing Zabaikalskaya and Amurskaya railroads it was found that the methods used in the Western regions of the country (on melted grounds) are not applicable in permafrost areas, for construction units (buildings, roads, bridges) in the course of short-term maintenance deform and go to ruin. Therefore, conventional constructions and techniques which proved to be success under usual conditions cannot be used in permafrost regions; moreover, mechanical transfer of these into permafrost areas results, as a rule, in disastrous effects.

Engineering practice and the results of scientific studies allowed to develop not only general principles and techniques of construction on frozen grounds, but to define concretely these principles for different types and classes of construction units as well as different type of work.

At present, according to normative documents there are two main principles of using frozen grounds in the USSR: either in frozen state or in melted state, the latter, as a rule, preliminary melted to be adjustable. However there are no strict boundaries between these. When choosing one principle or the other, regional peculiarities of distribution and structure of permafrost layers are taken into account. From this point of view, the following regions are distinguished: 1) continuous propagation of low-temperature permafrost grounds (Yakutsk, Norilsk et al); 2) continuous propagation of high-temperature permafrost grounds of low depth (Mirny, Igarka) and 3) island or discontinuous propagation of permafrost. For the first two types of grounds, the first principle of construction is used, for the third type, both the first and second principles may be used, depending on individual permafrost conditions of the site. The first principle does not only take into account actual conditions, but governs the properties of grounds in the broadest sense of the word, up to artificial creation of frozen depths, let alone frozen ground cooling so as to increase its durability and watertightness. The second principle may, in certain cases, be the only one acceptable; this is associated not only with individual properties of permafrost depths, but also with the type of a construction unit, its purpose and technology of industrial activities.

The first principle is most obvious when frozen grounds are used as foundation for civil and industrial construction. Different types of foundations ensuring the preservation of frozen state of grounds at base have been developed. The simplest solution is arrived at by elimination of direct contact between a heated building and ground surface by establishing a ventilated cellar. In case such a cellar cannot be established (for constructive or

other reasons) artificial cooling is used, either along the boundary of building-ground surface or of the entire frozen ground mass serving as a foundation.

The above principles may relate to different kinds of construction. While laying engineering communications within a city region, the principle of construction is governed, as a rule, by the principle of using permafrost grounds as foundation of buildings and other construction units. If civil and industrial construction is carried out with frozen state of ground preserved, then a similar condition should be observed for engineering communications. In case the construction is carried out according to the second principle, such a strict interconditionality is not necessarily to be observed. Different constructions and techniques have been developed for laying communications without disturbing frozen state of grounds. The most effective method is laying engineering communications of all kinds in two-layer communicating (ventilated in the cold period of the year) channels.

When laying main pipelines (water pipeline, petroleum pipeline, gas pipeline etc.) the choice of a construction principle and laying technique becomes complicated by the fact that the pipeline may intersect the regions of completely different geocryological conditions. However, the experience obtained shows that while building linear constructions, measures should be taken to preserve as far as possible not only thermal regime of permafrost grounds but natural conditions as well. In case there is no way to avoid disturbances, the latter should be brought to minimum, taking into account a detailed prediction of thermal-mechanical interaction of the pipeline and constructions above with permafrost grounds in the course of preliminary work, during construction and subsequent maintenance.

Planning and construction of high-ways in permafrost regions is carried out on the basis of dividing the area into districts and using the above two principles of permafrost ground application. When dividing the area into districts, the factors affecting the stability of road constructions are taken into account, which are as follows: a character of permafrost ground propagation, its temperature, and type (both permafrost layers and those subject to seasonal thawing). A construction principle and appropriate sub-grade structure are chosen in dependence on the type of area and degree of foundation ground settling.

Hydrotechnical constructions are also built according to the above two principles. What complicates the matter here is assurance of not only statical, but antifiltration stability of certain construction units of a hydro-electric station. Low and medium-pressure (up to 25 m) dams made of local construction materials (earth made) are erected using both 1) a method when the frozen state of foundation grounds is preserved and 2) when thawing is permissible in the course of maintenance (depending on permafrost and engineering-geological conditions and the degree of ground settling). Preference is given to the first principle. In this case the body of a dam and its antifiltration element should also be in frozen state. The latter is ensured either by 1) layer-to-layer freezing of the earth dam or 2) freezing the dam upon its completion by natural cold from the lower slope, or 3) applying compulsory freezing systems. High-pressure rockfill dams are erected on a solid rock foundation using the thawing version of construction; maintenance of these dams is similar to that used under ordinary conditions.

The above mentioned principles of using permafrost grounds are also applicable to special kinds of work (mining, for instance) which are not dealt with in this paper. The types of construction discussed give an idea about specific features of construction on frozen grounds.

К. Ф. Войтковский, Р. М. Каменский
(СССР, Москва, Якутск)

УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Освоение области распространения вечной мерзлоты связано с определенными трудностями и дополнительными затратами, которые обусловлены не только удаленностью от основных промышленных центров и баз стройиндустрии, сложными транспортными связями, незначительной плотностью населения и суровым климатом. Мерзлые грунты (а также лед) как основание, среда или строительный материал обладают особыми свойствами, обуславливающими иной подход к изысканиям, проектированию, строительству сооружений и другим видам человеческой деятельности в этих районах.

Особенность проектирования, строительства и эксплуатации сооружений различного назначения на вечной мерзлоте заключается в необходимости учета и регулирования теплообмена мерзлых грунтов с сооружениями и внешней средой, так как их физико-механические и строительные свойства изменяются при протавании (промерзании) или изменении температуры в оптимальном диапазоне. Это влияние сопровождается развитием вредных для устойчивости сооружений криогенных процессов.

В начале нашего века при строительстве Забайкальской и Амурской железных дорог инженеры пришли к выводу, что строить в этих районах на мерзлых грунтах так, как в западных районах страны (на талых грунтах), нельзя: сооружения (здания, дороги, мосты) в процессе непродолжительной эксплуатации деформируются и разрушаются. Здесь невозможно ограничиться общепринятыми конструкциями и приемами, которые хорошо себя зарекомендовали в обычных условиях, более того, механический перенос их в эти условия, как правило, приводит к катастрофическим последствиям.

Инженерная практика и результаты научных исследований позволили разработать не только общие принципы и методы строительства на мерзлых грунтах, но и конкретизировать их для различных типов и классов сооружений и видов работ.

В настоящее время в СССР нормативными документами регламентировано два основных принципа использования мерзлых грунтов: с сохранением их мерзлого состояния и с их оттаиванием, как правило, предварительным, управляемым. Между ними нет строгих границ. Выбор того или иного принципа обусловлен региональными особенностями распространения и строения вечномерзлой толщи. С этой точки зрения различают районы: 1) сплошного распространения низкотемпературных вечномерзлых пород (Якутск, Норильск и др.); 2) сплошного распространения маломощных высокотемпературных вечномерзлых пород (Мирный, Игарка) и 3) островного или прерывистого распространения вечной мерзлоты.

Для первых двух типов — основной принцип строительства — первый, для третьего — первый и второй, в зависимости от конкретных мерзлотных условий площадки. Первый принцип предусматривает не только учет фактических условий, но и управление свойствами грунтов в самом широком смысле слова, вплоть до искусственного создания мерзлой толщи, и тем более охлаждения мерзлых грунтов для повышения их прочности или водопроницаемости. Второй принцип может быть в некоторых случаях единственно приемлемым, что связано не только с конкретными свойствами вечномерзлой толщи, но и типом сооружения, его назначением и технологией производственной деятельности.

Наиболее наглядно первый принцип воплощается при использовании мерзлых грунтов в качестве оснований при гражданском и промышленном строительстве. Разработаны различные конструкции фундаментов, обеспечивающие сохранение мерзлого состояния грунтов основания. Простейшее решение — исключить непосредственный контакт отапливаемого здания с поверхностью грунта путем устройства проветриваемого подполья. При невозможности (по конструктивным или иным соображениям) устройства проветриваемого подполья применяют искусственное охлаждение грунтов либо на границе сооружения — поверхность грунта, либо всего массива мерзлых пород, который служит основанием сооружения.

Два принципа использования вечномерзлых грунтов имеют место при различных видах строительства. При прокладке инженерных коммуникаций в пределах городской застройки выбор метода строительства диктуется, как правило, принципом использования мерзлых грунтов в качестве оснований здания и сооружений. Если гражданское и промышленное строительство ведется с сохранением мерзлого состояния грунтов, то аналогичное условие должно обязательно соблюдаться и для инженерных коммуникаций. При строительстве по второму принципу такой жесткой взаимной обусловленности можно не придерживаться. Разработаны различные конструкции и приемы прокладки коммуникаций с сохранением мерзлого состояния грунтов. Наиболее эффективный метод — прокладка всех видов инженерных сетей в двухъярусных проходных (вентилируемых в холодный период года) каналах-утилизаторах.

При прокладке магистральных трубопроводов (водопроводов, нефтепроводов, газопроводов и др.) выбор принципа строительства и методов прокладки осложнен тем, что трасса трубопровода может пересекать районы с совершенно различными геокриологическими условиями. Однако накопленный к настоящему времени опыт строительства и эксплуатации позволяет констатировать, что строительство линейных сооружений должно вестись с выполнением требования максимально возможного сохранения не только термического режима вечномерзлых грунтов, но и природной обстановки в целом. При неизбежных нарушениях окружающей среды их необходимо свести к минимуму на основании детально проработанного прогноза результатов

теплового и механического взаимодействия трубопровода и сооружений на нем с вечномерзлыми породами в процессе проведения подготовительных работ, собственно строительства и последующей эксплуатации.

Проектирование и строительство автомобильных дорог в области распространения вечномерзлых грунтов ведется с учетом районирования и тех же двух принципов использования мерзлых грунтов. Районирование территории производится на основании факторов, оказывающих сильное влияние на устойчивость дорожных конструкций: характер распространения вечномерзлых грунтов, их температура, тип грунта (как вечномерзлого, так и в пределах слоя сезонного оттаивания). Принцип строительства, а соответственно и конструкция земляного полотна выбираются для каждого выделенного участка трассы в зависимости от типа местности и степени просадочности грунтов основания.

Строительство гидротехнических сооружений также производится исходя из двух принципов использования вечномерзлых грунтов. Осложняющим обстоятельством здесь является обеспечение не только статической, но и противофильтрационной устойчивости отдельных сооружений гидроузла. Низко- и средненапорные (до 25 м) плотины из местных строительных материалов (земляные) возводятся как по методу сохранения мерзлого состояния грунтов основания, так и с допущением оттаивания в процессе эксплуатации (в зависимости от мерзлотных и инженерно-геологических условий и степени просадочности пород). Предпочтение отдается первому принципу строительства. При этом тело плотины или ее противофильтрационный элемент также должны находиться в мерзлом состоянии. Последнее обеспечивается либо послойным намораживанием земляной плотины, либо промораживанием ее после возведения со стороны низового откоса за счет естественного холода, либо применением принудительных замораживающих систем. Высоконапорные каменнонабросные плотины возводятся на непросадочном скальном основании по талому варианту и условия их эксплуатации незначительно отличаются от обычных.

Мы не рассматриваем специальные виды работ (например, горных), для которых сформулированные выше принципы использования вечномерзлых грунтов также приемлемы. Рассмотренные виды строительства дают достаточное представление о специфических особенностях строительства на мерзлых грунтах.

APPENDIX A: CONTENTS OF SYMPOSIUM PROCEEDINGS

I. Polar Environment, Natural Resources, their Exploration and Exploitation

- I. V. Semenov, R. K. Sisko. Principal scheme of joint physiographic zoning of the Arctic Ocean and the Mainland
 V. V. Kryuchkov. Causes of treeless tundra zone
 Yu. A. Kruchinin. Antarctic snow cover and its role in landscape formation and indication
 Ye. S. Korotkevich, M. V. Alexandrov, I. M. Simonov. Antarctic oases as landscape structure of polar deserts
 Y. Yoshida. Studies in physical geography of Prince Harold and Kronprins Olav Coast, Antarctica
 G. A. Baskakov, A. O. Shpaikher. The boundaries and width of Siberian Shelf
 I. D. Danilov. Development of Eurasia polar shelf and its coasts in Cainozoic Period
 I. D. Danilov, L. A. Zhigarev. Problem of the Arctic Shelf lithocryology
 V. A. Belov. General evaluation and ways of spreading sedimentary material in the area of Siberian Shelf
 A. A. Nikonor. Recent movements of North Polar countries shores
 P. I. Melnikov, V. T. Balobayev. Permafrost at the territory of the USSR
 N. A. Shpol'yanskaya. The study of tendencies in permafrost development by the analysis of temperature field of the rocks
 I. D. Danilov. Polar specificity of sedimentogenesis and its significance in search of useful fossils
 V. A. Kudryavtsev, L. S. Gargulya, L. M. Maximova. Basic propositions for scientific prediction of antropogenic action and improvements of the environment in permafrost regions
 V. A. Kudryavtsev, V. G. Melamed. The characteristics of simulating natural and natural—engineering systems in permafrost regions
 L. S. Gargulya, V. A. Kudryavtsev, E. I. Nesmelova. The role of radiation heat balance in permafrost evolution
 V. S. Yakupov, V. M. Kalinin. Methods of mapping of permafrost thickness—Compiling regional maps
 M. S. Marshanov. Radiation regime formation in polar regions
 I. M. Dolgin, G. I. Karimova. Ozone concentration in the atmosphere of polar regions
 A. I. Voskresensky, L. P. Burova. Atmospheric moisture run-off in the polar regions
 V. V. Bruzgin, S. M. Donina, I. N. Zaygalova, N. V. Kolosova, L. S. Petrov. Antarctica: the region of extreme climatic conditions
 V. I. Zakharov. Katabatic winds in Antarctica
 G. Nyamu. Weather observations in Antarctic waters
 M. K. Gavrilova. Thermal regime of Yakutia Landscapes
 V. V. Panov, A. V. Paruskin, V. A. Sergachova, Z. I. Schwaister. Ice in the Arctic and its effect on human activity
 F. Müller. Problems of an Arctic Polynya—the North Water
 F. Müller, A. Ohmura, R. Braithwaite. On the climatic influence of North Water
 A. Ohmura, F. Müller. A numerical experimentation on the effect of the North Water Polynya on the meso-scale temperature and humidity fields and atmospheric circulation
 V. N. Kupetsky. The tendency toward cooling of the Arctic and Antarctic
 V. F. Zakharov. Recent cooling and the Arctic ice cover
 V. E. Borodachov, N. A. Volkov, V. N. Kupetsky. Landscapes of ice covered ocean and seas
 V. I. Smirnov. Sea ice in North American and Greenland Arctic
 A. M. Kozlovsky, Yu. L. Nazintsev, I. G. Petrov, N. V. Cherepanov. Variety in forms of structure and physico-mechanical properties of sea ice in polar seas
 V. D. Grishchenko. Study of the topography of the bottom surface of the drifting ice
 A. M. Kozlovsky. Many-yearly shore ice as an intermediate stage of ice shelf formation, Antarctica
 L. I. Dubrovina. Basic features of the Antarctic coasts
 V. G. Averyanov, Ye. S. Korotkevich. Glaciation of Antarctica: its role in the formation of climate and water regime of the Earth (Problems of Glaciological studies)
 C. R. Bentley, J. D. Robertson. Gravitational evidence for retreat of the eastern margin of the Ross Ice Shelf, Antarctica
 B. A. Yurtsev, A. I. Tolmachev, O. V. Rebristaya. Sectoral differentiation of the Arctic flora (AF)

II. Past, present and future economic developments in the polar regions

- N. N. Nekrasov, F. V. Dyakonov. Comprehensiveness of the economy and regional national economic complexes in the regions of the North of the USSR
 G. A. Agranat. Geographical problems of the economic development of the Soviet North
 S. V. Slavin. The role of the North in the national economy and specificity of the development of the North
 I. D. Danilov, S. A. Rakita. Objectives in the study and development of the North
 B. F. Shapalin. Industrial development of Northern regions and problems of future progress in economy and culture of indigenous population
 A. V. Baranovsky, R. T. Semina, L. I. Tatevosova. Role of the infrastructures in the development of northern natural resources
 L. P. Altman, V. M. Yaskova. Economic-geographical problems in navigation across the Soviet Arctic Seas
 V. V. Ivanov, Yu. V. Nalimov. Ice and hydrological conditions and economic development in the areas of the Soviet Arctic rivers
 V. P. Podoplelov. Population of the European Soviet North: its peculiarities

- K. F. Voikovskiy, R. M. Kamensky. Conditions and peculiarities of construction projects in the permafrost areas
 G. W. Rogers. Alaska's past and present patterns of regional development
 L. E. Hamelin, W. Barr. Some economic aspects of the Canadian North
 D. T. Kresge, T. A. Morehouse, D. A. Seiver. The economic impact of projected petroleum development in Alaska
 D. M. Hickok. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Impact on natives
 K. E. Francis. An analysis of the free enterprises response to environmental concerns in Arctic petroleum development
 T. Armstrong. "Shift work" in the Arctic
 A. K. Philbrick. Contrasting priorities of Inuit and Canadian land use
 D. F. Lynch. Fairbanks: the image of a subarctic community
 R. M. Bone. Northern settlements and public housing in Canada
 R. J. Fletcher. Physical site evaluation of existing, recently abandoned and potential settlements along the Northwest Passage
 D. F. Lynch. Geography of coal in Alaska
 R. B. Thomson. Possibilities and problems of exploring and exploiting Antarctic natural resources
 P. C. Dalrymple. New approach to the construction of a polar station—the new South Pole Station

III. Polar Environment Protection

- S. M. Uspensky, N. V. Vekhov, A. K. Kalyayev, V. A. Lobanov. Protection of natural complexes of the Arctic and sub-Arctic
 V. V. Kryuchkov. The change of the northern environment as a result of its use
 Yu. G. Zharkova. Impact of certain antropogenic factors on tundra complexes of European North of the USSR
 B. B. Borzhonov, E. K. Borozdin, N. O. Dyachenko, V. A. Zubrodin. The domestic reindeer industry influence on the flora and fauna of the tundra of the USSR
 R. P. Shchelkunova. The lichen cover change caused by the human activity at the north of the Yenisei Basin
 J. Brown. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Summary paper
 M. C. Brewer. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Impact on permafrost
 C. V. Mc Vee. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Planning to ameliorate impact
 D. R. Klein, J. E. Henning. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Impact on fish and wildlife
 W. B. Parker. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Impact on highways
 C. A. Champion, R. P. Huck. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska. Impacts of large-scale pipeline construction
 S. I. Outcalt, J. Brown. Resource development and related environmental problems in Arctic Alaska—computer modelling of terrain modifications
 E. L. Lewis. Oil in sea ice
 V. M. Smagin. Basic principles of control and pollution level observations in the Arctic Seas of the Soviet Union
 V. M. Smagin, V. N. Dronov, V. S. Rachkov, S. N. Vodovatova. Atmospheric transport of petroleum hydrocarbons and their accumulation in the underlying surface, the Arctic Ocean
 V. S. Rachkov, V. M. Smagin, V. N. Dronov. Petroleum pollution transport into the Arctic Ocean with the Atlantic water masses
 S. N. Vodovatova, O. I. Gordin, V. N. Dronov, S. V. Pivovarov, V. S. Rachkov, V. M. Smagin. Oil pollution of the Siberian Shelf Marginal Seas
 B. E. Keevil, R. O. Ramseier. Behavior of oil sandwiched in floating ice
 K. Kusunoki. Natural environment and its protection in the vicinity of Syowa Station, Antarctica